

ECOLOGIA DO FITOPLÂNTON DE UM RIO TROPICAL (RIO SÃO MATEUS, ES)

Mônica Alves Mamão

Dissertação apresentada no Curso de Biodiversidade Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Ecologia.

Orientadora: Prof. Dra. Valéria de Oliveira Fernandes

Universidade Federal do Espírito Santo

São Mateus, Fevereiro de 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M263e Mamão, Mônica Alves, 1984-
Ecologia do fitoplâncton de um rio tropical (rio São Mateus,ES) /
Mônica Alves Mamão. – 2012.
118 f. : il.

Orientador: Valéria de Oliveira Fernandes.
Coorientador: Sirlene Aparecida Felisberto.
Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Fitoplâncto. 2. Limnologia. 3. Rio. 4. Ecologia. I. Fernandes,
Valéria de Oliveira. II. Felisberto, Sirlene Aparecida. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo.
IV. Título.

CDU: 502

*À minha família como prova da minha
gratidão e do meu amor*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus por me ter dado a oportunidade de vivenciar essa experiência, por me acompanhar e guiar meus passos, por me acalantar em momentos de aflição e por tudo de bom que tenho na minha vida incluindo família, amigos, profissão, saúde, paz, alegria.

Aos meus pais, Imaculada e Paulo, que dedicaram a vida para minha formação e dos meus irmãos e se abdicaram de suas vidas em função disso. Muito obrigada! Agradeço também pelo carinho, compreensão, educação e apoio indispensáveis para que eu conseguisse chegar aqui. Se sou o que sou devo tudo a vocês!

À minha irmã Isabela por sempre estar disponível quando a solidão batia, pelas horas no telefone, pelos conselhos, cartão de crédito (rsrs), amizade, companheirismo. Ao meu irmão Vinicius pelo carinho, cumplicidade, por ter se aproximado mais, alegria e pelos conselhos.

À minha família, padinha, padrinho, tios, tias e primos pelo carinho e pelo exemplo de união e respeito.

À minha orientadora, Val, ótima pessoa que tive o prazer de conhecer e conviver esses dois anos. Obrigada pelo exemplo de ética, profissionalismo, gerenciamento, organização e exemplo de bom professor. Agradeço também a paciência, compreensão, puxões de orelha (rs), conhecimento, experiência e apoio. Apesar das diferenças de personalidade conseguimos construir uma amizade boa e tranquila.

À minha coorientadora, Sirlene, pela revisão criteriosa, sugestões essenciais, aulas de estatística, conhecimento, enfim, pela ajuda fundamental para concluir a dissertação. Tenho grande admiração por sua dedicação profissional.

Aos meus amigos de BH, incluindo a flor paulista Dani e a mineira carioca Lê, pela compreensão nos momentos de ausência, amizade e apoio. Um agradecimento especial à Deborita e Dani por estarem comigo em todos os momentos, sempre me apoiando e compreendendo. Agradeço também a Cris pela paciência, pela disponibilidade em ajudar e por dividir seu conhecimento.

Aos amigos do Espírito Santo, em especial Popota, Rika, Nana, Manoel Bernardo, Katty, Flávia, Paulinha, Raissa, Tide, Bah e Victor por terem me aceitado em suas vidas, me acolher e por me fazer viver momentos especiais e de muitas gargalhadas.

Aos companheiros de turma e aos professores do programa de mestrado por dividirem os “perrengues”, as disciplinas, os trabalhos em grupo, o conhecimento e os momentos de descontração. Foi um prazer conhecer profissionais tão qualificados! Um carinho em especial à Michelle, Talita, Flávia, Vanuza, Angélica amiga doida, Volpi amiga fraude, e a minha companheira de projeto e amiga Tháta.

À equipe do LATEAC, Edson, Bona, Fazolo, Larissa, Adriano, Victor, Bah, Raissa, Sâmia, Tati e Carol pela boa vontade em ajudar na execução desse projeto e pelo agradável convívio. Obrigado Stéfano pela paciência e ajuda estatística.

Ao meu eterno companheiro, Frê, pela enorme paciência e compreensão durante esses anos que estive longe e ao apoio em todas as decisões. Um pouco dessa mulher forte e independente que sou hoje devo a você. Te amo.

Ao Prof. Dr. Carlos Bicudo e à Msc. Angélica Righetti da Rocha por me receberem carinhosamente no Instituto de Botânica de São Paulo e pela ajuda imensurável com as diatomáceas.

Ao laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual Norte Fluminense e à Bruna Guedes pela análise do nitrogênio amoniacal.

À Associação de Pescadores de São Mateus, APESAM, e todos os pescadores que sempre tiveram boa vontade em ajudar nos emprestando o barco e nos guiando nas longas coletas. Agradeço em especial ao Sr. Gilson por nos acompanhar em todas as coletas, pela simpatia e disposição.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo, FAPES pela bolsa de mestrado e ao Programa Ecológico de Longa Duração, PELD São Mateus, pela oportunidade de participar de sua execução.

Ao Coordenador, Prof. Dr. Luis Fernando Tavares de Menezes, e a secretaria do Programa de Biodiversidade Tropical, nas pessoas de Kárita, Sílvia e Bernadete, por sempre atenderem à minhas solicitações.

Obrigada aos membros da banca examinadora, Profa Dra. Lúcia Helena Sampaio da Silva, Prof. Dr. Camilo Dias Junior, Prof.a Dra. Marina Satika Suzuki, Prof. Dr. Luis Fernando Duboc por aceitarem participar da banca e assim contribuírem para minha formação.

Essa conquista é nossa! Valeu a todos por tudo!

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.”

Chico Xavier

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMO GERAL.....	12
GENERAL ABSTRACT	13
INTRODUÇÃO GERAL	14
CAPÍTULO 1.....	24
ROMPIMENTO DA CONTINUIDADE LIMNOLÓGICA DE UM AMBIENTE LÓTICO TROPICAL.....	24
Resumo	25
Introdução	26
Material e Métodos	28
Resultados	30
Discussão	31
CAPÍTULO 2.....	44
DESCONTINUIDADE LIMNOLÓGICA SOBRE A COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM UM RIO TROPICAL	44
Resumo	45
Abstract	45
Introdução	46
Materiais e Métodos	48
Resultados	52
Discussão	54
Anexo.....	67
CAPÍTULO 3.....	75
USO DE GRUPOS FUNCIONAIS FITOPLANCTÔNICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ECOLÓGICA EM UM RIO TROPICAL	75
Resumo	76
Abstract	77
Introdução	78
Materiais e Métodos	80
Resultados	84

Discussão	86
CONCLUSÕES GERAIS	101
REFERÊNCIAS	103

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Caracterização das estações amostrais do rio São Mateus.	35
Tabela 1.2: Comparação das estações ao longo de alguns trechos do rio São Mateus através de teste de Kruskal-Wallis /Dunn utilizando parâmetros físicos e químicos.	36
Tabela 1.3: Coeficientes de correlação dos eixos 1 e 2 obtidos através da ACP.....	36
Tabela 2.1: Caracterização das estações amostrais do rio São Mateus.	57
Tabela 2.2: Média e Erro padrão das variáveis limnológicas e bióticas do rio São Mateus nos quatro períodos amostrados. As letras e o <i>p</i> -valor são dados pelo programa Assistat no teste Kruskal-Wallis, mostrando a proximidade das estações amostrais.	58
Tabela 2.3: Matriz de similaridade (Índice de Jaccard) obtida para as seis estações amostrais no rio São Mateus durante o período estudado. Valores em porcentagem.	59
Tabela 2.4: Coeficientes de correlação das variáveis abióticas e bióticas do rio São Mateus sobre os dois primeiros eixos da CCA.....	59
Tabela 2.5: Correlação de Spearman entre as variáveis bióticas e abióticas do rio São Mateus. Os dados apresentados são os que possuem correlação significativa ($p < 0.05$).	61
Tabela 3.1: Média e Erro padrão das variáveis limnológicas do rio São Mateus no período amostrado. As letras e o <i>p</i> -valor são dados pelo programa Assistat no teste Kruskal-Wallis, mostrando a proximidade das estações amostrais.....	91
Tabela 3.2: Índice de estado trófico, nível trófico, concentração de fósforo total e equivalência trófica do rio São Mateus (setembro e outubro de 2010).....	92
Tabela 3.3: Coeficientes de correlação dos eixos 1 e 2 obtidos através da ACP.....	92
Tabela 3.4: Espécies fitoplanctônicas descritoras (>5% da biomassa total), classes taxonômicas, grupo funcional correspondente e contribuição para a biomassa total, rio São Mateus, analisados em setembro e outubro de 2010. ?=proposição de inclusão de espécie.	93
Tabela 3.5: Correlação de Spearman entre as variáveis abióticas, grupos funcionais e biomassa do rio São Mateus. Os dados apresentados são os que possuem correlação significativa ($p < 0.05$).	94
Tabela 3.6: Coeficientes de correlação das variáveis abióticas e grupos funcionais do rio São Mateus sobre os dois primeiros eixos da ACC.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bacia do Rio São Mateus.	19
Figura 2: Série histórica da média da temperatura e precipitação mensal na região do rio São Mateus. Dados de 1967 até 2010. Fonte: base meteorológica do INMET.	20
Figura 3: Imagem de satélite do Rio São Mateus com detalhe para a ocupação do solo. Fonte: www.earth.google.com	21
Figura 4: Vista parcial das estações amostrais do rio São Mateus. (a) SM01 com detalhe para a mata ciliar (b) SM02 com detalhe margens pouco preservadas (c) SM03 em região urbanizada (d) SM04 em região urbanizada (e) SM05 com detalhe para os tanques-rede (piscicultura intensiva) (f) SM06.	22
Figura 1.1: Bacia do rio São Mateus localizada em parte no Estado do Espírito Santo/Brasil. Em destaque o rio São Mateus e as estações amostrais.	37
Figura 1.2: Variação espacial da profundidade e Zona eufótica da coluna d' água ao longo das estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro de 2010.	38
Figura 1.3: Média dos parâmetros físicos e químicos das estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro/2010. (a) oxigênio dissolvido (OD); (b) temperatura da água; (c) condutividade elétrica (CE); (d) turbidez; (e) pH; (f) salinidade.	39
Figura 1.4: Média dos parâmetros físicos e químicos das estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro/2010. (g) sólidos totais em suspensão; (h) silicato; (i) nitrato; (j) nitrito; (k) nitrogênio amoniacal; (l) nitrogênio total.	40
Figura 1.5: Média dos parâmetros físicos e químicos das estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro/2010. (m) ortofosfato; (n) fósforo total.	41
Figura 1.6: Diagrama de ordenação obtido através da Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis limnológicas das seis estações amostrais do rio São Mateus, analisado em setembro e outubro/2010. Variáveis descritoras: Zona eufótica (ZE); Fósforo total (PT); Ortofosfato (PO_4^{3-}), Nitrogênio amoniacal (NH_4^+); Nitrito (NO_2^-); Turbidez (Turb); Nitrogênio total (NT); Sólidos totais solúveis (STS); Condutividade elétrica (CE).	42
Figura 1.7: Análise de agrupamento com as variáveis limnológicas das seis estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro/2010.	43
Figura 2.1: Bacia do Rio São Mateus localizada em parte no Estado do Espírito Santo/Brasil. Em destaque o rio São Mateus e as estações amostrais.	62
Figura 2.2: Riqueza de espécies e sua distribuição nas classes taxonômicas nas estações amostrais do rio São Mateus durante setembro e outubro de 2010.	63
Figura 2.3: Abundância relativa do Biovolume das classes fitoplanctônicas do rio São Mateus.	63
Figura 2.4: Densidade, Diversidade e Equitabilidade das estações amostrais do rio São Mateus durante setembro e outubro de 2010.	64
Figura 2.5: Análise de agrupamento das estações amostrais do rio São Mateus, considerando a presença e ausência de espécies durante o período estudado.	65

Figura 2.6: Ordenação pela Análise de correspondência canônica (CCA) das variáveis bióticas e abióticas para as seis estações amostrais do rio São Mateus em setembro e outubro de 2010. Variáveis descritoras: Zona eufótica (ZE); Fósforo total (PT); Ortofosfato (PO_4^{3-}), Nitrogênio amoniacal (NH_4^+); Sólidos totais solúveis (STS); Equitabilidade (Equita); Diversidade (Diver); Riqueza (Rique); Biovolume de Cyanophyceae (Cya); Densidade Total (Dens); Biovolume Chlorophyceae (Chl); Biovolume Total (Bio); Biovolume Cryptophyceae (Cry); Biovolume Bacillariophyceae (Bac).66

Figura 3.1: Bacia do Rio São Mateus localizada em parte no Estado do Espírito Santo/Brasil. Em destaque o rio São Mateus e as estações amostrais.96

Figura 3.2: Diagrama de ordenação obtido através da Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis limnológicas e índice de estado trófico das seis estações amostrais do rio São Mateus, analisado em setembro e outubro/2010. Variáveis descritoras: Zona eufótica (ZE); Fósforo total (PT); Ortofosfato (PO_4^{3-}), Nitrogênio amoniacal (NH_4^+); Nitrito (NO_2^-); Turbidez (Turb); Nitrogênio total (NT); Sólidos totais em suspensão (STS); Condutividade elétrica (CE).97

Figura 3.3: Média e erro padrão da biomassa total e dos grupos funcionais das espécies descritoras (>5% da biomassa total) das estações amostrais com diferentes níveis tróficos. GF = grupo funcional; Oligot = Oligotrófico; Mesot = Mesotrófico.98

Figura 3.4: Análise de agrupamento das estações amostrais do rio São Mateus, considerando a biomassa dos grupos funcionais das espécies descritoras (>5% da biomassa total) durante o período estudado.99

Figura 3.5: Ordenação pela Análise de Correspondência Canônica (ACC) das variáveis abióticas e grupos funcionais para as seis estações amostrais do rio São Mateus em setembro e outubro/2010. Variáveis descritoras: Índice de Estado Trófico (IET); Ortofosfato (PO_4^{3-}), Nitrogênio Total (NT); Sólidos totais em suspensão (STS); Condutividade Elétrica (CE); grupos funcionais X1, Y, Lo, C, Td, Tb, W2, D.100



“Quando aqui chegaram com suas armas de fogo, dominaram os índios que se defendiam com armas primitivas. Os índios eram escravizados para o trabalho nos engenhos e suas mulheres eram usadas para suas sevícias e prazeres.

Os índios trataram de se defender como podiam, juntando-se até com nações e tribos adversárias.

Com isso uma batalha se configurou em vários pontos da margem do Rio Cricaré (Rio São Mateus), no início do ano de 1558.

Por subestimar a valentia dos índios e por descuido dos soldados, a tropa avançou muito na perseguição e ficou sem pólvora. Os índios perceberam e avançaram.

Após a morte de Fernão de Sá, juntou-se um grande número de soldados portugueses que entraram na região do Rio Cricaré matando milhares de índios.

Esses episódios se configuram como a primeira derrota dos portugueses na costa brasileira e também como o maior genocídio cometido contra os índios no Brasil.”

Adaptado de Eliezer O. Nardoto. História de São Mateus. 1ª ed. São Mateus: EDAL, 1999.

RESUMO GERAL

Os múltiplos usos dos ecossistemas fluviais podem provocar a ruptura do seu gradiente contínuo natural. Políticas de biomonitoramento e/ou detecção de impactos antrópicos são necessários para a manutenção da qualidade da água dos rios. O presente estudo foi desenvolvido no rio São Mateus, localizado na região norte do estado do Espírito Santo, Brasil, e teve como objetivos: 1) avaliar o gradiente de continuidade de um ambiente lótico tropical através das variáveis limnológicas em trecho com usos múltiplos; 2) avaliar a conectividade entre as estações amostrais através da estrutura da comunidade fitoplanctônica e verificar quais variáveis abióticas mais influenciaram esta comunidade; 3) avaliar o uso de grupos funcionais como indicadores da qualidade ecológica do rio São Mateus. Seis estações amostrais em trechos do rio São Mateus foram determinadas: duas a montante da cidade de São Mateus (SM01, SM02), duas ao longo da cidade (SM03 e SM04) e duas imediatamente a jusante da cidade (SM05 e SM06). Amostras de água foram coletadas na sub-superfície da coluna d'água para análises físicas, química, físico-química e da comunidade fitoplanctônica. As estações SM05 e SM06, submetidas à influência da piscicultura intensiva e ao lançamento de grande volume de efluentes, respectivamente, apresentaram valores mais elevados da maioria das variáveis limnológicas analisadas e foram consideradas mesotróficas, enquanto as outras estações foram consideradas oligotróficas. As Análises de Componentes Principais (ACP) separaram as estações SM05 e SM06 das demais estações relacionando-as com elevados valores das variáveis limnológicas e do índice de estado trófico. As estações amostrais SM05 e SM06 apresentaram a maior biomassa e dominância de *Polymyxus coronalis* Bailey. Além disso, essas duas estações apresentaram maior similaridade florística. Foram identificados nove grupos funcionais: X1, X2, Y, L_O, D, T_B, T_D, W2 e C. As Análises de Correspondência Canônica (ACC) separaram as estações SM05 e SM06 relacionando-as com elevada biomassa de Bacillariophyceae e Cryptophyceae, biomassa total, com o grupo

funcional D e as variáveis como nitrogênio total, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão, ortofosfato e o índice de estado trófico. Dessa forma, conclui-se que, principalmente, o lançamento de efluentes domésticos e industriais e a piscicultura intensiva resultaram no rompimento de continuidade no rio São Mateus.

GENERAL ABSTRACT

The multiple uses of river ecosystems can lead to disruption of its natural continuous gradient. Policies biomonitoring and/or detection of human impacts are needed to maintain the water quality of rivers. This study was conducted in São Mateus river, located in the northern state of Espírito Santo, Brazil, and aimed: 1) to evaluate the gradient of continuity of a lotic tropical environment through the limnological variables in a section with multiple uses; 2) to assess the connectivity between the sampling stations throughout the structure of the phytoplankton community and see note abiotic variables most influenced the community, 3) to evaluate the use of functional groups as indicators of ecological quality of São Mateus river. Six sampling stations along a stretch of São Mateus river were determined: two upstream of the city (SM01, SM02), two over the city (SM03 and SM04) and two immediately downstream of the city (SM05 and SM06). Water samples were collected in the sub-surface water column for physical, chemical, physico-chemical and phytoplankton community. Stations SM05 and SM06, subject to the influence of intensive fish farming and the release of large volumes of effluent, respectively, showed higher values of most limnological variables and were analyzed and considered mesotrophic, while other stations were considered oligotrophic. The Principal Component Analysis (PCA) separated the stations SM05 and SM06 of the others stations relating them with high values of limnological variables and trophic state index. The sampling stations SM05 and SM06 had the highest biomass and dominance of *Polymyxus coronalis* Bailey. Furthermore, these two stations had a

higher floristic similarity. We identified nine functional groups: X1, X2, Y, L_O, D, T_B, T_D, W2 and C. The canonical correspondence analysis (CCA) separated stations SM05 and SM06 relating them to high biomass of Bacillariophyceae and Cryptophyceae, total biomass, with the functional group D and variables such as total nitrogen, electrical conductivity, total suspended solids, orthophosphate and trophic state index. Thus, it can be concluded that mainly the release of domestic and industrial sewage and intensive farming have resulted in the disruption of continuity in the São Mateus.

INTRODUÇÃO GERAL

Ecossistemas fluviais são conhecidos por apresentarem fluxo unidirecional e influência da bacia hidrográfica e de seu material alóctone (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008). Por essas características, tem se procurado compreender o funcionamento destes ambientes tendo a bacia hidrográfica como unidade de estudo, para que assim seja feito planejamento e gestão integrados (Roland & Marinho, 2005; Brigante & Espíndola, 2003), já que o processo que ocorre na cabeceira pode influenciar a foz. No entanto, uma escala menor é indicada para o entendimento da relação entre efeitos antrópicos e a resposta ecológica de determinado trecho do rio (Barbosa, 2003). Isso porque, segundo Frissell et al. (1996), determinado trecho do rio é resultado de suas características geológicas, usos e ocupação do solo e empreendimentos instalados.

Nos últimos 60 anos tem se procurado entender mais intensamente o funcionamento dos ecossistemas fluviais para a compreensão do seu papel ecológico e para a conservação dos recursos.

Uma das primeiras teorias que buscou o entendimento dos rios, em sua dimensão longitudinal, foi o Conceito da Continuidade do Rio (CCR) (Vannote et al., 1980). Essa teoria acredita que as características físicas ao longo do rio juntamente com o ciclo hidrológico

levam a uma resposta da comunidade biológica, que assim estará previsivelmente distribuída no rio ao longo desse gradiente físico. Assim, a dinâmica do rio se altera desde a cabeceira, onde há maior sombreamento pela vegetação ripária e maior contribuição do material alóctone, até a foz onde a turbidez é elevada e a velocidade da água menor (Vannote et al., 1980).

Seguindo essa mesma idéia, que o ecossistema fluvial possui um contínuo, Newbold et al. (1982) defendem o conceito de espiralamento de nutrientes, que seria a ciclagem de nutrientes no sistema lótico. Ao contrário do que ocorre em lagoas, os nutrientes em rios são transportados antes de completarem a completa ciclagem.

Segundo Hesign & Doyle (2006), basicamente, o que controla e influencia a ciclagem de nutrientes no rio é a biota e as propriedades físicas do rio. Assim, as propriedades físicas do rio, como profundidade, velocidade da corrente e largura, vão ditar o tempo de residência da água enquanto a biota controla a absorção de nutrientes.

O Conceito do Rio Contínuo é um sistema generalizado para a caracterização de ecossistemas lóticos originais, ou seja, inexplorados e, por isso, o trabalho de Vanotte et al. (1980) foi logo questionado (Statzner & Higler, 1985).

Poucos rios mantêm esse padrão da continuidade devido às ações antrópicas como a construção de barragens que transformam um ambiente lótico em lêntico (Ward & Stanford, 1983). A construção da barragem vai afetar direta e indiretamente todos os aspectos ecológicos do ecossistema lótico rio abaixo, levando a sua descontinuidade (Ward & Stanford, 1983). O represamento da água altera, por exemplo, o transporte de detritos e nutrientes e a temperatura da água, tendo essa interferência reação direta sobre a biota, podendo levar a diminuição da diversidade de espécies.

Esses mesmo autores (Standford & Ward, 2001), em uma revisão do conceito de descontinuidade do rio, concluem que outras interferências antrópicas, além do represamento, podem romper a continuidade.

Em 1995, Johnson et al. mencionou que um grande número de fatores podem influenciar as predições determinadas pelo CCR, entre eles a entrada dos tributários e as atividades humanas – canalização, irrigação, etc. Estes fatores podem afetar diretamente os rios, principalmente reduzindo a diversidade de espécies.

A comunidade aquática estabelecida em sistemas fluviais deve possuir adaptações funcionais e estruturais para suportar o que segundo Margalef (1983) é um dos principais fatores que determinam a estrutura física e química do rio, a correnteza.

Um dos maiores paradoxos da comunidade fitoplanctônica é como estes organismos poderiam se estabelecer, reproduzir e sustentar sua população em um ambiente com correnteza (Reynolds, 1988). Na verdade o estabelecimento dessa comunidade é devido a existência de regiões ao longo do rio que possuem menor velocidade da corrente, onde as algas poderiam alcançar elevadas densidades e alimentar as populações localizadas rio abaixo (Reynolds, 1994).

Os principais fatores que influenciam a estrutura do fitoplâncton são disponibilidade de luz e nutrientes, temperatura da água e herbivoria (Reynolds, 1987). No entanto, em rios fatores hidrológicos como a turbidez e a diluição são determinantes das populações de algas planctônicas (Reynolds, 2006). Essa comunidade deve ser capaz de se reproduzir rapidamente, ter resistência a turbulência e boa captação de luz (Reynolds et al., 1994).

A composição de espécies, riqueza, diversidade, densidade e biomassa do fitoplâncton variam segundo as mudanças ambientais (Reynolds, 2006). Assim, são muito utilizadas para o biomonitoramento de corpos d'água, por serem bons sensores da qualidade da água (Margalef, 1983; Reynolds, 1984).

Os grupos funcionais são utilizados para o entendimento da dinâmica de comunidades fitoplanctônicas e previsão de sua distribuição. O termo “grupo funcional” se refere a um grupo de espécies que possui determinadas adaptações (Reynolds et al., 2002). A teoria dos grupos funcionais acredita que uma espécie bem adaptada vai tolerar o estresse no habitat melhor do que uma espécie não adaptada e que as espécies que ocorrem em um habitat possuem adaptações para sobreviver as suas condições (Padisák et al., 2009).

Os grupos funcionais fitoplanctônicos são um excelente suporte para os gestores de recursos hídricos. Podem servir de apoio à tomada de decisões na escolha de áreas prioritárias de manejo (Reynolds et al., 2002).

A construção de barragens, a extração da água para o abastecimento urbano e agrícola, desmatamento, introdução de espécies exóticas, lançamento de efluentes domésticos e industriais são alguns dos usos dos sistemas fluviais que tem repercutido de forma negativa na qualidade e disponibilidade de água, levando a sua escassez (Allan & Callisto, 2007; Elosegí & Sabater, 2009). Dessa forma, o monitoramento dos rios seja através de variáveis físicas, químicas e biológicas tem sido discutido como meio para se conservar esse recurso vital.

Este estudo está inserido no Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD/MCT/CNPq/CEUNES, e visa fornecer dados sobre o fitoplâncton para subsidiar o conhecimento da bacia hidrográfica em uma abordagem ecorregional, a criação de estratégias de conservação e recuperação ambiental e a gestão hídrica.

O conteúdo da dissertação foi dividido em três capítulos que possuem como objetivos gerais:

- 1) avaliar o gradiente de continuidade do rio através das variáveis limnológicas em trechos com usos múltiplos;

2) avaliar a conectividade entre os pontos amostrais ao longo de trechos do rio São Mateus através da estrutura da comunidade fitoplanctônica e verificar quais variáveis abióticas mais influenciaram esta comunidade.

3) verificar se os grupos funcionais são bons indicadores da qualidade ambiental do rio São Mateus.

Por fim são apresentadas as conclusões gerais.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio São Mateus possui uma superfície aproximadamente de 13.482 km², sendo 7.710 km² no estado do Espírito Santo e 5.772 km² no estado de Minas Gerais (MMA, 2006) (Figura 1). Suas nascentes localizam-se em Minas Gerais, a cerca de 1000 metros de altitude, e ao longo do seu curso agrega 15 afluentes principais que contribuem na drenagem de 23 municípios, sendo 12 em Minas Gerais e 11 no Espírito Santo. O rio São Mateus é formado pela união dos rios Cotaxé (Braço Norte do rio), com aproximadamente 244 km e originado no município de Ouro Verde de Minas, e Cricaré (Braço Sul), com aproximadamente 200 km e originado no município de Mendes Pimentel (ANA, 2009).

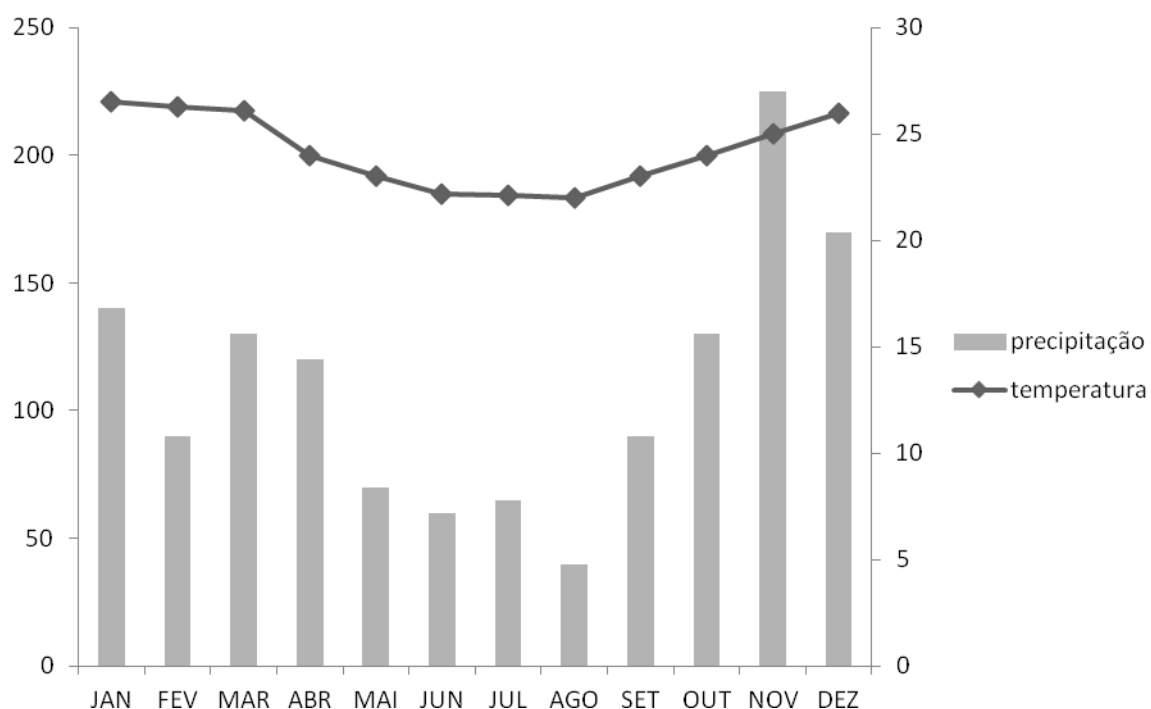


Figura 2: Série histórica da média da temperatura e precipitação mensal na região do rio São Mateus. Dados de 1967 até 2010. Fonte: base meteorológica do INMET.

O rio São Mateus é o principal manancial de abastecimento para vários municípios, e também tem fornecido água para diversos projetos de irrigação, além de servir como receptor dos efluentes domésticos e industriais não tratados. Além disso, existem os impactos causados pelos projetos de mineração, desmatamento, loteamentos urbanos e cultivos de subsistência e pastagens (Figura 3) (ANA, 2009).

O trecho estudado está submetido a diversos impactos antrópicos, desde desmatamentos, passando por poluição doméstica e industrial, até a piscicultura intensiva. A estação amostral SM01 é a que possui melhor preservação da mata ciliar seguida da SM02 (Figura 4). A estação SM03 localiza-se em um núcleo urbano, assim como SM04, no entanto nessa última há lançamento de efluentes domésticos. A estação SM05 está localizada exatamente no meio do sistema de tanques redes instalados neste trecho do rio (piscicultura intensiva). Por fim, a

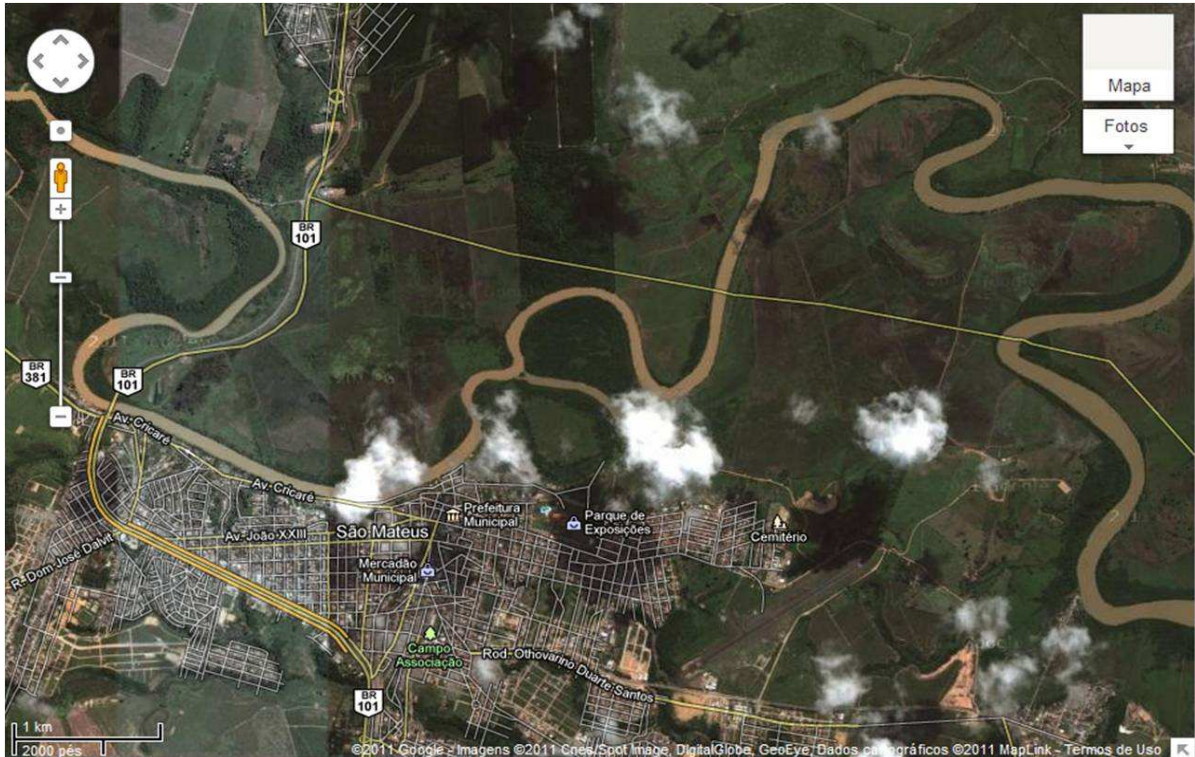


Figura 3: Imagem de satélite do Rio São Mateus com detalhe para a ocupação do solo. Fonte: www.earth.google.com.

estação SM06 está situada próximo ao lançamento de grande volume de efluentes domésticos e industriais.

Na figura 5 é possível perceber a relação das estações amostrais com a ocupação do solo.

A bacia do rio São Mateus ainda possui poucos estudos com relação aos seus aspectos bióticos. Deve-se salientar a elevada biodiversidade da região onde está inserido o rio. A Mata Atlântica é caracterizada pelo elevado grau de endemismo e eminente risco de extinção. As poucas informações que se tem do rio São Mateus são em geral pontuais e/ou fragmentadas.

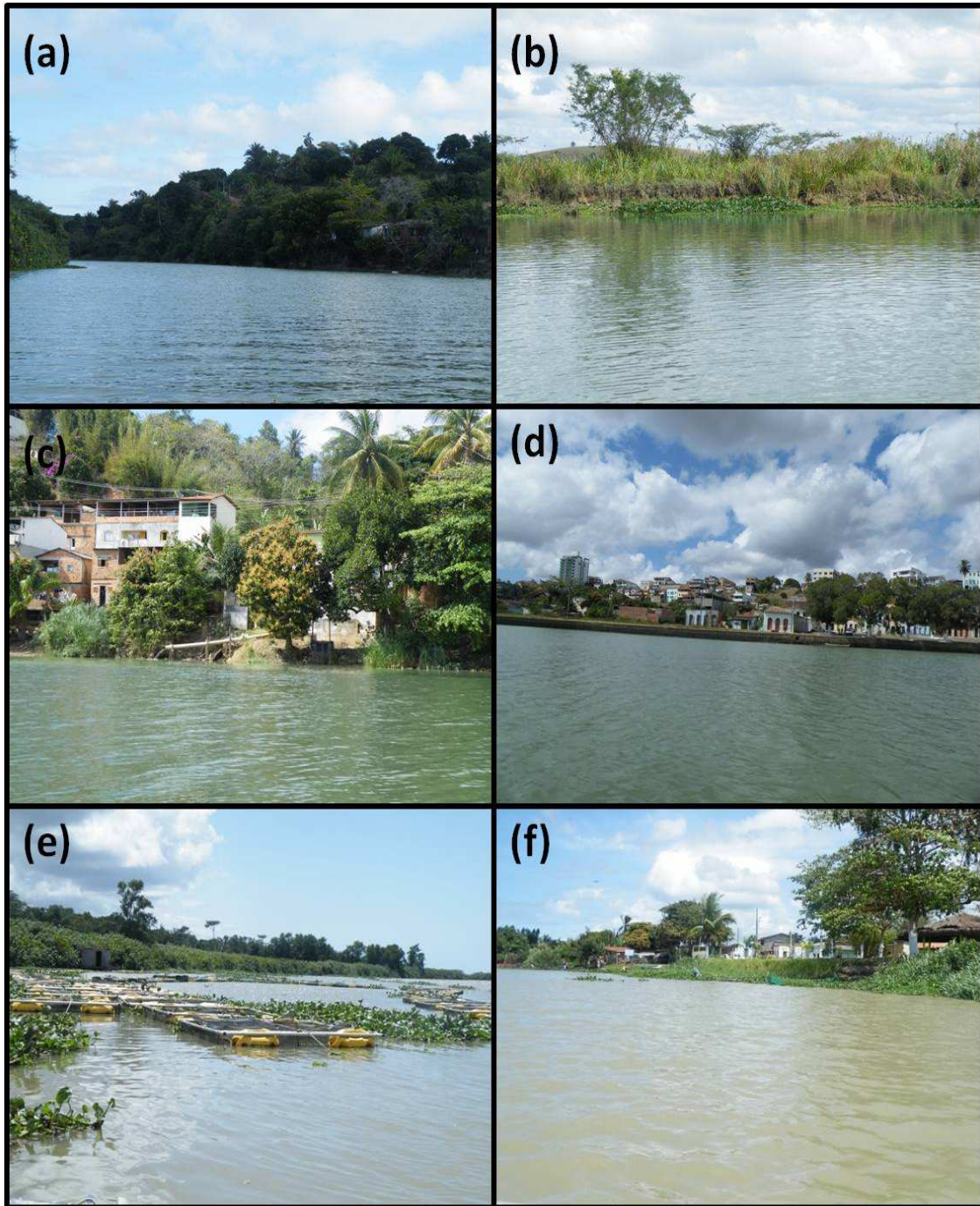


Figura 4: Vista parcial das estações amostrais do rio São Mateus. (a) SM01 com detalhe para a mata ciliar (b) SM02 com detalhe margens pouco preservadas (c) SM03 em região urbanizada (d) SM04 em região urbanizada (e) SM05 com detalhe para os tanques-rede (piscicultura intensiva) (f) SM06.

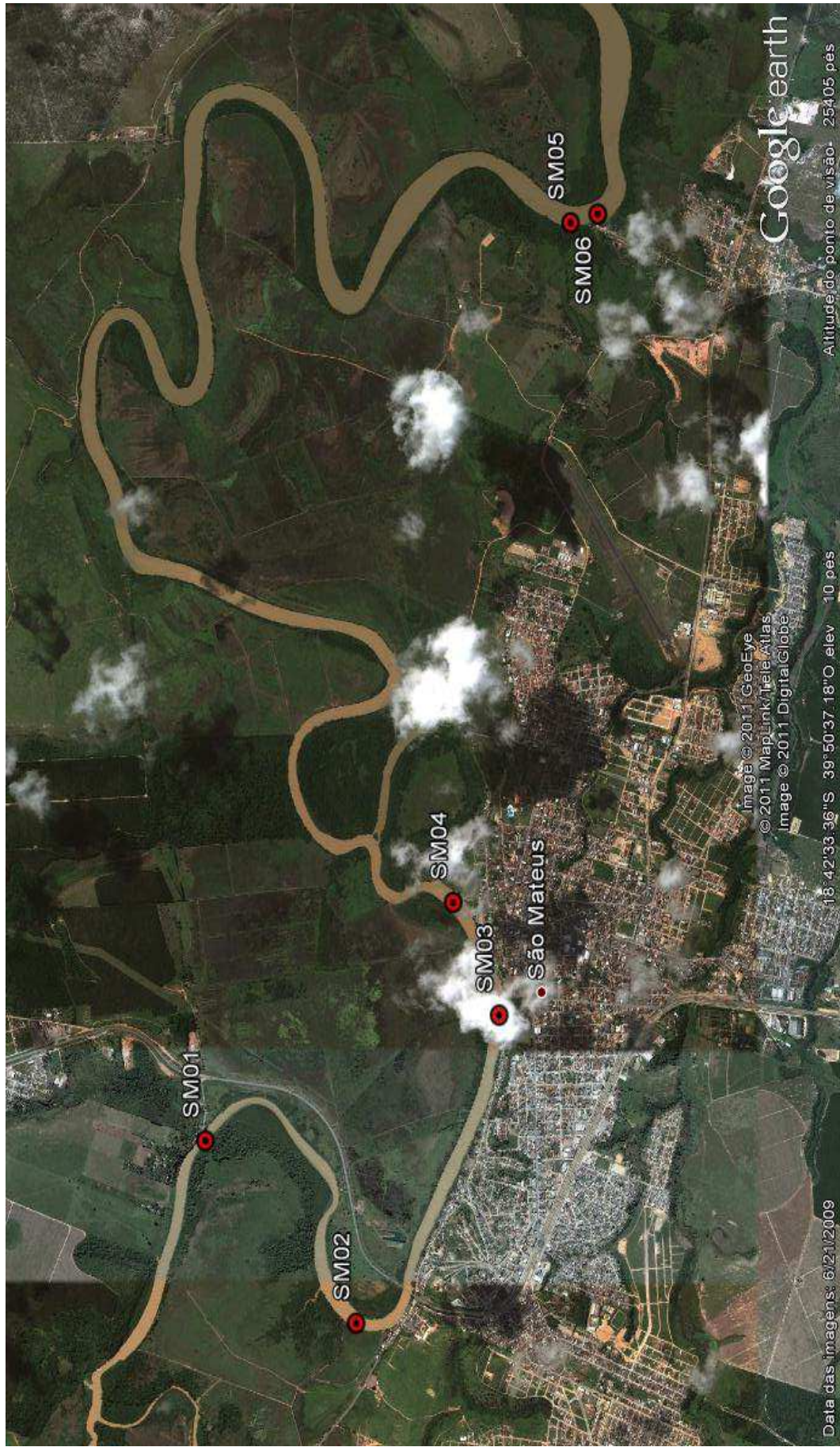


Figura 5: Imagem de satélite das estações amostrais do Rio São Mateus. Fonte: www.earth.google.com.

CAPÍTULO 1

ROMPIMENTO DA CONTINUIDADE LIMNOLÓGICA DE UM AMBIENTE LÓTICO TROPICAL

Artigo a ser encaminhado para publicação
na revista Acta Limnologica Brasiliensia

Normas disponíveis em:
http://www.sblimno.org.br/acta/my_web_sites/acta_limnologica_authors.htm

Resumo: Objetivo: Esse trabalho se propõe a avaliar o gradiente de continuidade de um ambiente lótico tropical através das variáveis limnológicas em trechos com usos múltiplos. **Métodos:** Seis estações amostrais foram determinadas em um trecho do rio São Mateus, a montante, ao longo e à jusante da cidade de São Mateus, norte do estado do Espírito Santo, Brasil, em setembro e outubro de 2010. Amostras de água foram coletadas na sub-superfície da coluna d'água para análises físicas, químicas e físico-químicas. **Resultados:** Nas estações amostrais SM01, SM02, SM03 e SM04 a maioria das variáveis limnológicas apresentou valores menores que nas estações SM05 e SM06. A Análise de Componentes Principais (ACP) com 98.1% da explicação nos dois primeiros eixos separou as estações SM05 e SM06 relacionando-as com condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais suspensos, nitrogênio total, nitrato, nitrogênio amoniacal, fósforo total e ortofosfato, enquanto SM01, SM02, SM03 E SM04 relacionaram-se com zona eufótica. A análise de agrupamento separou as estações amostrais em dois grandes grupos. **Conclusões:** As diferentes interferências antrópicas no trecho estudado do rio São Mateus resultaram no rompimento de continuidade do rio, sendo que o lançamento de efluentes e a piscicultura intensiva foram os impactos que mais contribuíram para os valores mais elevados das variáveis limnológicas nas estações SM05 e SM06.

Palavras-chave: usos múltiplos, continuidade do rio, variáveis físicas e químicas, lançamento de efluentes e piscicultura.

Abstract: Objective: This study aims to evaluate the gradient of continuity a lotic tropical environment through the limnological variables in a section with multiple uses. **Methods:** Six sampling stations were determined in stretches of São Mateus river, upstream, over and downstream the city of São Mateus, north of Espírito Santo,

Brazil, in September and October 2010. Water samples were collected in the sub-surface water column for physical, chemical and physico-chemical properties. Results: In the sampling stations SM01, SM02, SM03 and SM04 the most physical and chemical limnological variables of water showed lower values than in stations SM05 and SM06. The Principal Component Analysis (PCA) with 98.1% of the explanation in the first two axes separated the stations SM05 and SM06 relating them to electrical conductivity, turbidity, total suspended solids, total nitrogen, nitrate, ammonia, total phosphorus and orthophosphate, while SM01, SM02, SM03 and SM04 were related to the euphotic zone. Cluster analysis separated the sampling stations into two groups. Conclusions: The anthropogenic interference in the studied stretch of São Mateus river resulted in the disruption of the notion of continuity of the river. The introduction of effluents and intensive fish farming impacts that were the largest contributors to the higher values of the variables limnological stations SM05 and SM06. Keywords: multiple uses, river continuity, physical and chemical variables, effluent discharge and fish.

1. Introdução

Várias teorias buscaram o entendimento do funcionamento dos ecossistemas fluviais e dentre elas pode-se destacar aquelas que consideram a dimensão longitudinal dos rios. O Conceito de Continuidade do Rio postula que as características físicas do rio em condições naturais, desde a cabeceira até a foz, seguem um contínuo (Vannote et al., 1980). Concordando com esse funcionamento contínuo dos sistemas lóticos, Newbold et al. (1982) propõem que a ciclagem de nutrientes ocorre rio abaixo devido ao transporte pela correnteza. Essa dinâmica de nutrientes acarretará em diferentes

concentrações ao longo do rio, que será determinada pela estrutura física do rio e sua biota (Ensign and Doyle, 2006).

No entanto, o conceito do contínuo do rio foi desenvolvido para ecossistemas de rios naturais, sem interferência antrópica (dimensão humana), o que não remete as condições atuais da maioria dos rios (Johnson et al., 1995). Assim, o rompimento da prevista continuidade do rio pode ocorrer com a alteração do gradiente físico devido a construção de barragens, surgindo o Conceito de Descontinuidade do Rio (Ward and Stanford, 1983; Stanford and Ward, 2001).

No cenário brasileiro, além dos reservatórios, as ações antrópicas que vem alterando as condições naturais dos rios são: o lançamento de efluentes, irrigação, fertilização, introdução de espécies exóticas, piscicultura, retirada da mata ciliar, entre outros (Johnson et al., 1995; Allan and Castillo, 2007; Tundisi and Matsumura-Tundisi, 2008; Elozegi and Sabater, 2009).

As variáveis limnológicas estão entre as primeiras a responderem aos agentes externos, podendo resultar em um aumento da entrada de nutrientes, redução do pH e da concentração de oxigênio dissolvido, aumento da turbidez e temperatura (Rios and Calijuri, 1995; Camargo et al., 1996; Allan and Castillo, 2007). O monitoramento das variáveis limnológicas tem sido usado para avaliar o funcionamento do ecossistema fluvial, verificando se há o rompimento da continuidade do rio (Marques et al., 2003; Silva et al., 2010; Houser et al., 2010).

Dessa forma, esse trabalho se propõe a entender o funcionamento longitudinal de um rio com usos múltiplos, baseando-se na hipótese de que as ações antrópicas que ocorrem em determinados trechos do rio alteram sua estrutura física e química, rompendo a continuidade do rio. Tem-se como objetivos: a) caracterizar espacialmente as estações amostrais através das variáveis limnológicas, b) investigar quais variáveis

limnológicas aproximam essas estações e c) identificar a conectividade entre as estações amostrais.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio São Mateus possui uma superfície aproximadamente de 13.842 Km² distribuídos nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O rio São Mateus (Figura 1.1), um dos principais afluentes dessa Bacia, é formado pela junção dos rios Cotaxé (Braço Norte) e Cricaré (Braço Sul) e está inserido em uma região de mata atlântica com clima tropical úmido e índice pluviométrico médio anual de 1300 mm (MMA, 2006; ANA, 2009). Apesar de o rio São Mateus configurar como um dos principais mananciais de abastecimento público, vem sofrendo impactos antrópicos desde projetos de irrigação, a retirada da mata ciliar, introdução de espécies exóticas até o uso como receptor de efluentes domésticos, hospitalares e industriais (ANA, 2009).

A cidade litorânea de São Mateus, com 109.067 habitantes (IBGE, 2010), está situada às margens do rio São Mateus e no contexto de ocupação do solo e uso da água, foi realizado o estudo.

2.2. Amostragem e análise das variáveis limnológicas

Seis estações amostrais (Figura 1.1) foram determinadas no rio São Mateus – Espírito Santo/Brasil. As estações estão situadas à montante da cidade de São Mateus, SM01 e SM02, ao longo da cidade em direção a foz do rio, SM03 e SM04 e imediatamente a jusante da cidade com influência de piscicultura intensiva (tanques-rede) e lançamento de grande volume de efluentes domésticos e industriais (SM05, SM06, respectivamente). Cada estação possui características peculiares (Tabela 1.1).

Amostras de água foram coletadas á sub-superfície da coluna d'água em intervalos semanais, para minimizar a influência temporal durante os meses de setembro e outubro/2010 (dias 08,15 e 22/09 e 01/10).

Em campo algumas variáveis foram determinadas, entre elas a profundidade (profundímetro SpeedTech), transparência da água e zona eufótica (disco de Secchi; segundo Cole, 1994), pH (potenciômetro Quimis), temperatura da água, oxigênio dissolvido, salinidade e condutividade elétrica (multiparâmetros YSI 85).

Amostras de água foram coletadas com frascos para análise em laboratório, como a turbidez (turbidímetro Plus Microprocessado Alfakit), sólidos totais em suspensão (STS; APHA, 1992) e concentrações dos nutrientes: silicato (SiO_4 ; Golterman et al., 1978), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT; Valderrama, 1981), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^- ; Mackereth et al., 1978), nitrogênio amoniacal (NH_4^+ ; Koroleff, 1976), e ortofosfato (PO_4^{3-} ; Strickland and Parsons, 1960).

2.3. Análise dos dados

As coletas semanais foram consideradas como réplicas ($n = 4$) para a abordagem de variação espacial. A normalidade dos dados foi testada através do teste de Komolgorov-Smirnov. Uma vez que os dados obtidos não apresentaram a normalidade e homocedasticidade, as diferenças nos parâmetros físicos e químicos entre as estações amostrais e a proximidade dessas foram verificadas pelo teste de Kruskal-Wallis através do software Assistat 7.6 beta (Silva and Azevedo, 2006). Para verificar uma relação entre as estações amostrais e as variáveis limnológicas foi feita Análise de Componentes Principais (ACP). Os eixos utilizados para a interpretação do resultado da ACP foram aqueles que apresentaram autovalores maiores que o Broken-Stick (Jackson, 1993). Além disso, para avaliar a similaridade das estações amostrais, em relação as variáveis limnológicas, análise de agrupamento hierárquico, considerando a distância Euclidiana

foi realizada utilizando-se o método de ligação Ward. O programa utilizado para essas duas últimas análises foi PCORD versão 5 (McCune and Mefford, 2006). As variáveis utilizadas foram aquelas que apresentaram diferença significativa entre as estações amostrais no teste de Kruskal-Wallis e esses dados foram transformados previamente ($\text{Log}(x+1)$).

3. Resultados

De maneira geral o rio São Mateus apresentou pH levemente alcalino e elevada temperatura da água em todas as estações amostrais.

A profundidade média do rio variou entre 3 e 4.3 m, com exceção da estação SM06 que apresentou a maior profundidade (8.2 ± 0.9 m) (Figura 1.2). As estações SM05 e SM06 apresentaram a menor ZE (0.9 ± 0.5 e 0.67 ± 0.25 m, respectivamente; Figura 1.2). A condutividade elétrica foi similar nas estações entre SM01 e SM04, com valores próximos a $211 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, no entanto, aumentou expressivamente de SM04 para SM05, mantendo-se elevada na estação SM06 (309.57 ± 75.63 e $259.02 \pm 32.26 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, respectivamente; Figura 1.3). A estação SM05 apresentou valores mais elevados de sólidos totais em suspensão ($19.5 \pm 6.78 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) seguida de SM06 ($14.7 \pm 11.88 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Para a turbidez, valores mais elevados foram registrados também em SM06 e SM05 ($37.99; \pm 9.36$ e $36.33; \pm 9.78$ NTU, respectivamente).

Seguindo esse padrão, as concentrações dos compostos nitrogenados e fosfatados, com exceção do NO_3^- , foram maiores e diferentes do restante nas estações SM05 e SM06 (Figuras 1.4-1.5). Entre as quatro primeiras estações, SM02 apresentou a menor concentração somente de PO_4^{3-} ($0.011 \pm 0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$); em SM01 foram registrados valores baixos apenas de NT ($0.452 \pm 0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e SM04 apresentou as maiores concentrações, de NT ($0.607 \pm 0.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Os outros compostos fosfatados e nitrogenados

apresentaram concentrações semelhantes entre essas quatro estações iniciais (SM01, SM02, SM03 e SM04) (Figuras 1.4-1.5).

A turbidez, sólidos totais em suspensão, condutividade elétrica, zona eufótica e os nutrientes (NO_2^- , NH_4^+ , NT, PO_4^{3-} e PT) das estações amostrais SM05 e SM06 diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) daquelas das demais estações. Já o oxigênio dissolvido de SM05 diferiu estatisticamente das demais estações e o nitrato de SM05 diferiu de SM01 (Tabela 1.2).

A Análise de Componentes principais (ACP) mostra que os dois primeiros eixos explicaram 93% e 5.1%, respectivamente, da variação dos dados físicos e químicos nas estações amostrais (Tabela 1.3). O eixo 1 separou as quatro primeiras estações (SM01, SM02, SM03 e SM04) das duas últimas (SM05 e SM06) relacionando-as com ZE (Figura 1.6). Já as duas últimas estações se agruparam do lado negativo do eixo, relacionando-se com nutrientes (PT, PO_4^{3-} , NT, NH_4^+ , NO_2^-), condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão e turbidez.

A análise de agrupamento (Figura 1.7) revela a formação de dois grupos distintos no rio São Mateus, o primeiro no qual prevaleceram as variáveis limnológicas (PT, PO_4^{3-} , NT, NH_4^+ , NO_2^- , condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão e turbidez) com menores valores e maior ZE, formado pelas estações SM01, SM02, SM03 e SM04, e outro no qual essas variáveis limnológicas apresentaram valores mais elevados e menor ZE, estações SM05 e SM06.

4. Discussão

A interferência humana externa e a ausência de um gradiente limnológico sinalizam o rompimento da continuidade no rio São Mateus. As características limnológicas como, alta turbidez, sólidos totais em suspensão, condutividade elétrica e a

concentração de nitrogênio e fósforo total, são típicas de ambientes que estão sujeitos a algum impacto antrópico (Meybeck, 1982; Allan and Castillo, 2007; Dudgeon, 2008), corroborando os elevados valores dessas variáveis nas estações amostrais SM05 e SM06 que estão sujeitas a interferências antrópicas. Além disso, a abrupta elevação das variáveis físicas e químicas nas estações SM05 e SM06 é divergente do esperado pelo Conceito de Continuidade do Rio de Vannote et al. (1980).

Elevada transparência e, assim, maior zona eufótica, refletem menor turbidez e concentração de sólidos totais em suspensão (Esteves, 2011), o que foi possível perceber nas primeiras quatro estações. Já os valores elevados de sólidos totais em suspensão, condutividade elétrica e turbidez nas estações amostrais SM05 e SM06 podem estar relacionados aos diferentes usos do solo. Nos rios Taieri, Motueka (Nova Zelândia) e Amazonas (Brasil), o aumento dessas variáveis, pode ser atribuído aos diferentes usos do solo ao longo do rio (Dudgeon, 2008). Da mesma forma, as estações SM05 e SM06 apresentaram as maiores concentrações de compostos nitrogenados e fosfatados mostrando que o sistema de piscicultura intensiva e o lançamento de efluentes foram, dentre as diferentes interferências antrópicas ao longo do rio, os principais responsáveis por essas concentrações.

Alguns estudos mostram que a concentração de nitrogênio e fósforo no sistema fluvial pode ser fortemente influenciada pela ocupação urbana do solo e pela atividade agrícola (Allan and Castillo, 2007; Elozegi and Sabater, 2009). Ainda, os usos da água para criação de peixe e lançamento de efluentes contribuem enormemente para a entrada de nutrientes nos ecossistemas aquáticos (Sipaúba-Tavares et al., 2010₁ e 2010₂; Bowes et al., 2003). A ração lançada diariamente em tanques de piscicultura aumenta a quantidade de material particulado no ambiente (Castro et al., 2003). Além do aporte de nutrientes, os tanques de piscicultura podem ter contribuído também para as maiores

concentrações de sólidos em suspensão e condutividade elétrica, principalmente na estação SM05 do rio São Mateus (como constatado na ACP). Assim, percebemos que os diferentes usos da água para benefício da população (tanques de cultivo de peixes próximo a SM05 e lançamento de esgotos próximo a SM06) podem alterar a qualidade da água em rios que possuem cidades construídas às suas margens.

Seguindo o CCR (Vannote et al., 1980), as concentrações de compostos inorgânicos diminuem rio abaixo devido à assimilação por organismos, no entanto, foi registrada elevação abrupta nos nutrientes nitrogênio amoniacal, ortofosfato e nitrito nas estações a jusante, SM05 e SM06. A ausência desse gradiente longitudinal no rio São Mateus, esperado para sistema lótico naturais em sua dimensão espacial, ficou clara pela formação de dois compartimentos no rio, como evidenciaram os resultados. O primeiro agrupamento é formado pelas estações que estão sujeitas a um impacto de menor magnitude, SM01, SM02, SM03 e SM04, e no segundo grupo estão as estações SM05 e SM06 que sofrem um impacto de maior magnitude. A magnitude do impacto está relacionada com o tipo de interferência antrópica ao longo do rio (Owens and Walling, 2002; Eloisegi and Sabater, 2009). Além disso, a potencialização das variáveis físicas e químicas da água pode ser atribuída à localização da estação amostral no rio, a hidrodinâmica do rio e a somatização dos impactos (Bowes et al., 2003; Freire et al., 2009), como observado na estação SM06.

A similaridade entre as estações amostrais quanto à temperatura, oxigênio dissolvido, pH e silicato reflete as inter-relações entre essas variáveis, uma vez que o pH influencia a disponibilidade de silicato na coluna d'água e a temperatura interfere na concentração de oxigênio dissolvido (Tundisi and Matsumura-Tundisi, 2008; Esteves, 2011). O nitrato apresentou concentração constante ao longo do rio, possivelmente

devido à rápida fixação e direta assimilação pelos organismos (Allan and Castillo, 2007), tendo como consequência o transporte a curta distância desse elemento.

Portanto, como esperado, pode-se perceber que houve um rompimento da continuidade longitudinal do rio São Mateus, uma vez que as variáveis físicas e químicas do rio foram alteradas pelos diferentes usos da água e ocupação do solo, sendo a piscicultura intensiva e o lançamento de efluentes os impactos de maior magnitude. Essas interferências externas foram as responsáveis pela similaridade das variáveis físicas e químicas nas estações amostrais SM05 e SM06. Essa realidade do rio São Mateus é a mesma percebida em vários sistemas lóticos. Por fim, estudos que abranjam toda a bacia hidrográfica, assim como trechos impactados e não impactados dos rios, são importantes para ajudar a entender o funcionamento do gradiente longitudinal do sistema. Com isso poderia-se efetivar a zonação do rio (Marques et al., 2003) e propor práticas adequadas de manejo para evitar processos de eutrofização e perda da qualidade da água.

Agradecimentos

À Associação de Pescadores de São Mateus (APESAM) pela disposição em ajudar e pelo apoio logístico e ao Laboratório de Ciências Ambientais da UENF pela análise do nitrogênio amoniacal.

Tabela 1.1: Caracterização das estações amostrais do rio São Mateus.

Estações amostrais	Coordenadas geográficas	Localização	Principal característica
SM01	S 18° 41.703' W 39° 52.084'	M - Estação de captação de Água CESAN	Mata Ciliar preservada
SM02	S 18° 42.284' W 39° 52.728'	M – Anterior a ponte da Br101-Norte	Mata Ciliar pouco preservada
SM03	S 18° 42.836' W 39° 51.642'	C - Estação de captação de água SAAE	Núcleo urbano
SM04	S 18° 42.659' W 39° 51.246'	C - Sítio histórico da cidade	Lançamento de efluente doméstico sem tratamento
SM05	S 18° 43.112' W 39° 48.853'	J – Sistema de Tanques de piscicultura da APESAM	150 tanques de piscicultura de tilápia (<i>Oreochromis sp.</i>) no entorno
SM06	S 18° 43.217' W 39° 48.822'	J – APESAM	Lançamento de efluente doméstico e industrial sem tratamento

M=Montante da cidade de São Mateus; C=Ao longo da cidade de São Mateus; J=Jusante da cidade de São Mateus; CESAN=Companhia Espírito Santense de Saneamento; SAAE= Serviço Autônomo de Água e Esgoto; APESAM=Associação de Pescadores de São Mateus.

Tabela 1.2: Comparação das estações ao longo de alguns trechos do rio São Mateus através de teste de Kruskal-Wallis /Dunn utilizando parâmetros físicos e químicos.

Pares de estações	Prof	Transp	ZE	Turb	STS	CE	OD	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NT	PO ₄ ³⁻	PT
1x5	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	ns	*
1x6	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	*	*	*	*
2x5	ns	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*	*
2x6	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	*	*	*	*
3x5	ns	*	*	*	*	*	ns	*	ns	*	*	*	*
3x6	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	*
4x5	ns	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	ns	ns	*
4x6	*	*	*	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	*	*

Prof=Profundidade; Transp=Transparência; ZE=Zona eufótica; Turb=Turbidez; STS=Sólidos torais em suspensão; CE=Condutividade elétrica; OD=Oxigênio dissolvido; PO₄³⁻=Ortofosfato; PT=Fósforo total; NO₂⁻=Nitrito; NO₃⁻=Nitrato; NH₄⁺=Nitrogênio amoniacal; NT=Nitrogênio total; *= $p < 0.05$; ns=não significativo.

Tabela 1.3: Coeficientes de correlação dos eixos 1 e 2 obtidos através da ACP.

Parâmetro	Coeficiente de Correlação	
	Eixo 1	Eixo 2
Zona Eufótica	0.9958	0.0717
Turbidez	-0.9841	0.0132
Sólidos em Suspensão	-0.9457	0.2458
Condutividade Elétrica	-0.9083	0.3927
Nitrogênio amoniacal	-0.9997	-0.0096
Nitrogênio total	-0.9570	0.1451
Ortofosfato	-0.9642	-0.2624
Fósforo total	-0.9228	-0.3811
Nitrito	-0.9969	-0.0555
Autovalores	8.37	0.45
Broken-stick	2.82	1.82

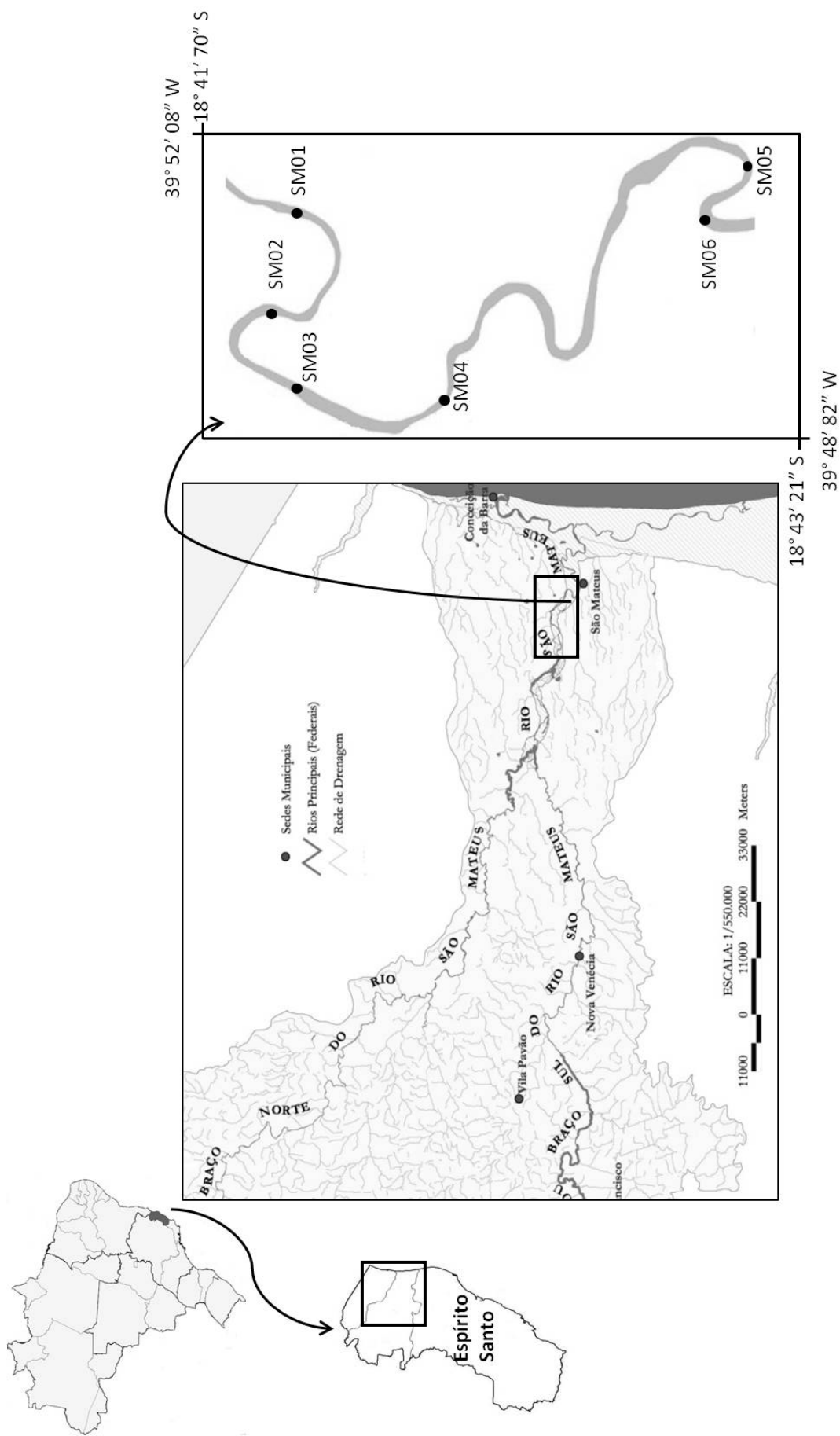


Figura 1.1: Bacia do rio São Mateus localizada em parte no Estado do Espírito Santo/Brasil. Em destaque o rio São Mateus e as estações amostrais.

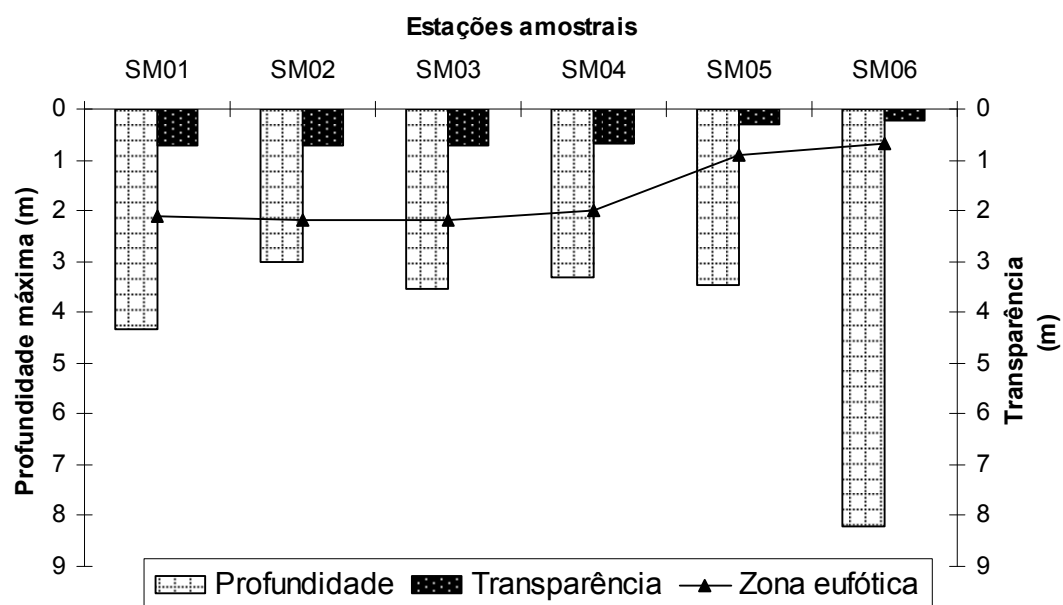


Figura 1.2: Variação espacial da profundidade e Zona eufótica da coluna d' água ao longo das estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro de 2010.

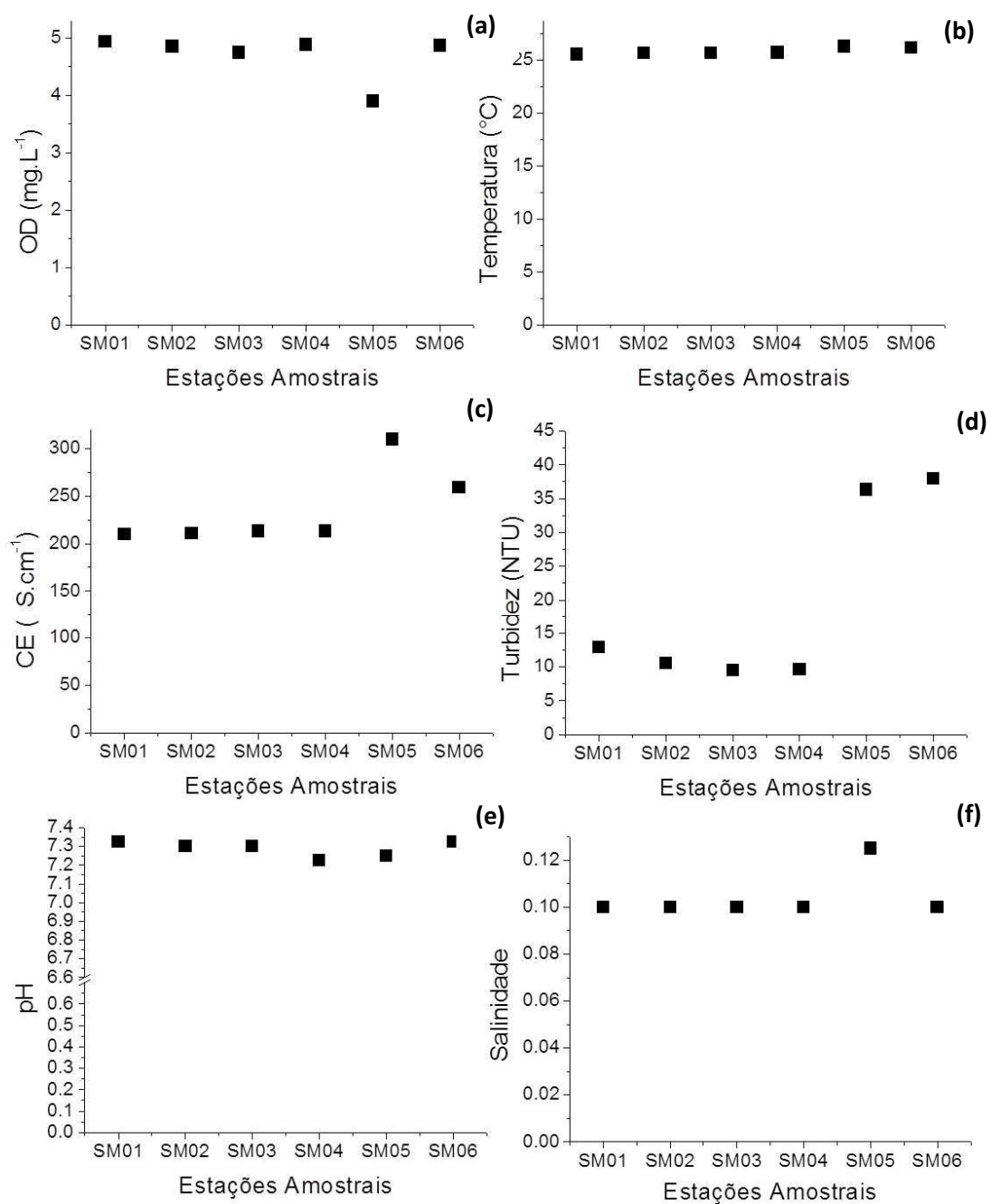


Figura 1.3: Média dos parâmetros físicos e químicos das estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro/2010. (a) oxigênio dissolvido (OD); (b) temperatura da água; (c) condutividade elétrica (CE); (d) turbidez; (e) pH; (f) salinidade.

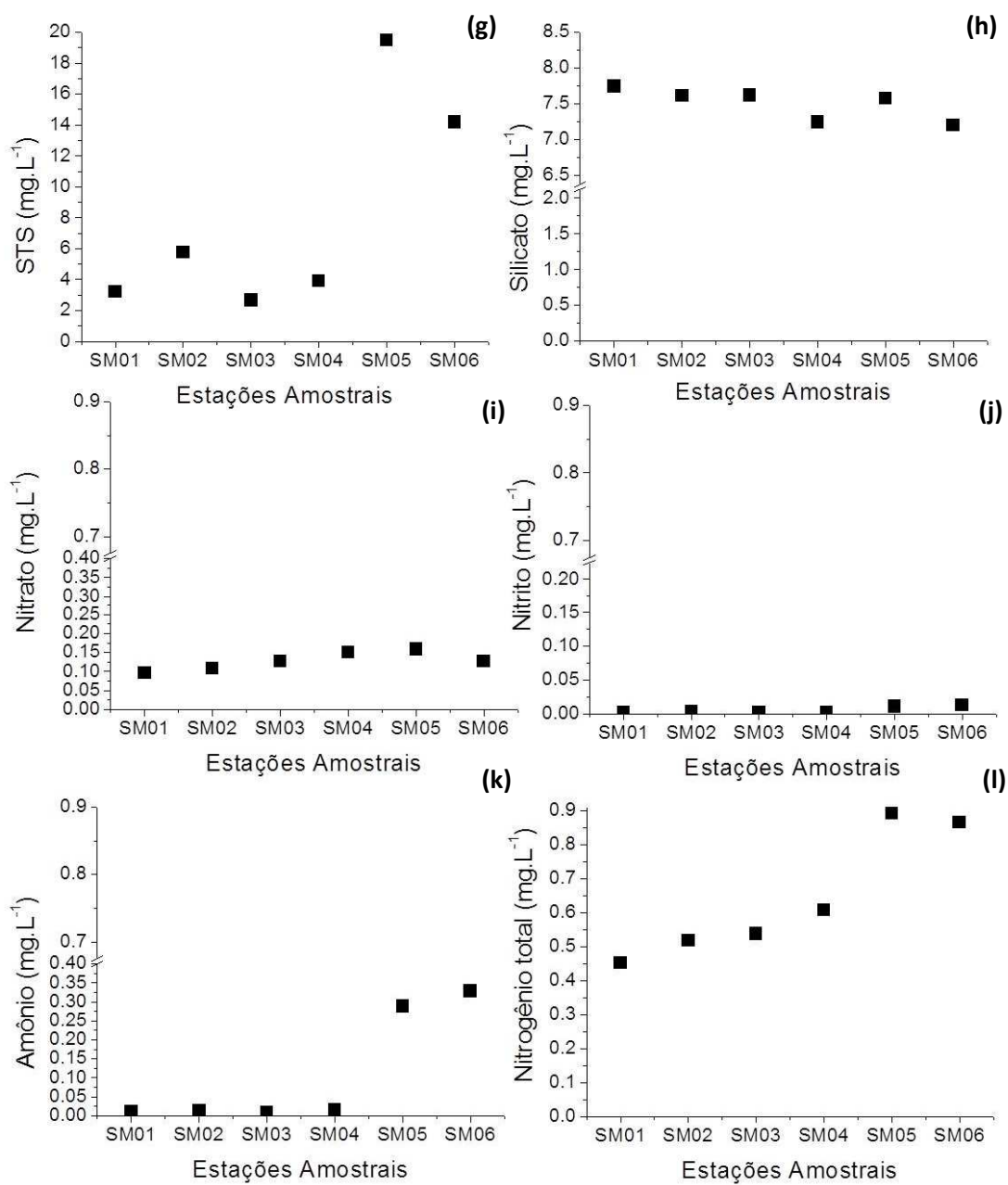


Figura 1.4: Média dos parâmetros físicos e químicos das estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro/2010. (g) sólidos totais em suspensão; (h) silicato; (i) nitrato; (j) nitrito; (k) nitrogênio amoniacal; (l) nitrogênio total.

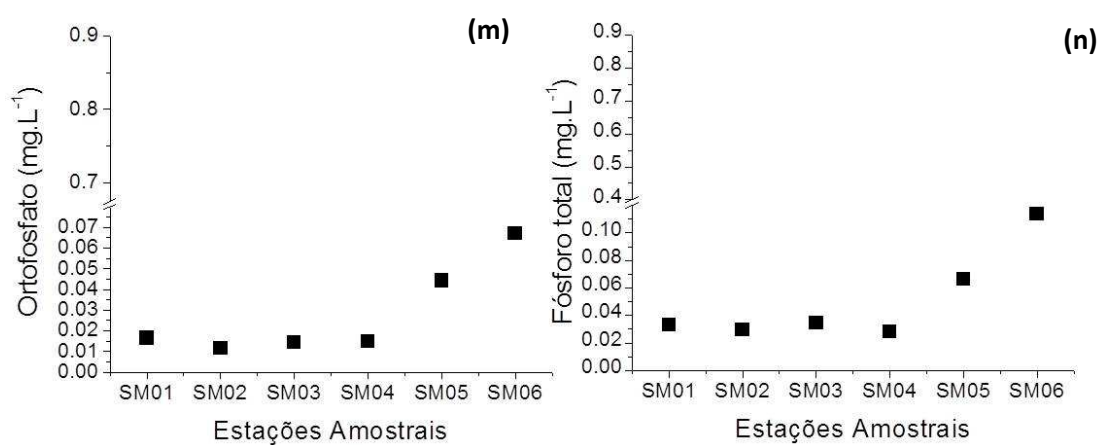


Figura 1.5: Média dos parâmetros físicos e químicos das estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro/2010. (m) ortofosfato; (n) fósforo total.

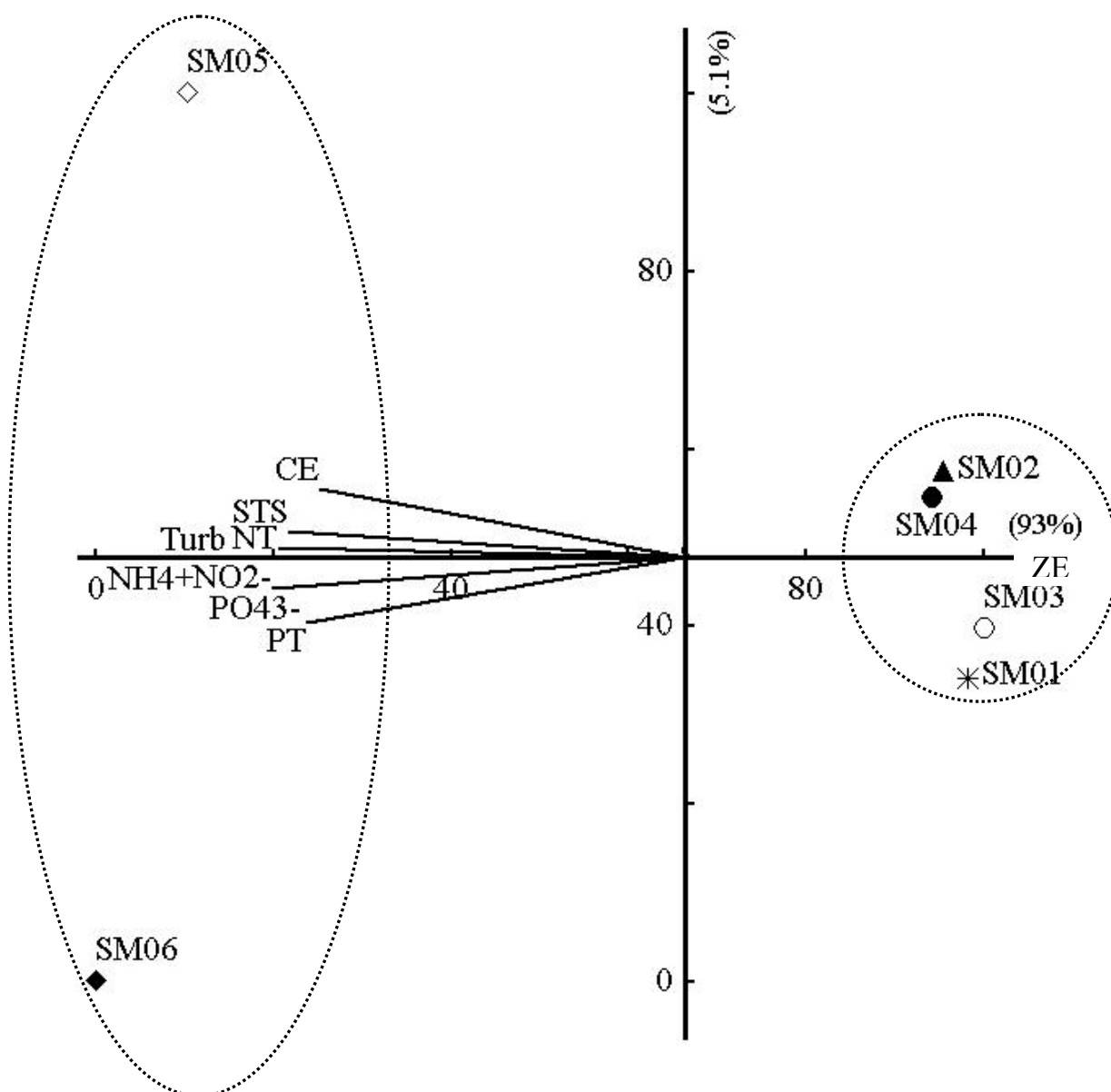


Figura 1.6: Diagrama de ordenação obtido através da Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis limnológicas das seis estações amostrais do rio São Mateus, analisado em setembro e outubro/2010. Variáveis descritoras: Zona eufótica (ZE); Fósforo total (PT); Ortofosfato (PO_4^{3-}), Nitrogênio amoniacal (NH_4^+); Nitrito (NO_2^-); Turbidez (Turb); Nitrogênio total (NT); Sólidos totais solúveis (STS); Condutividade elétrica (CE).

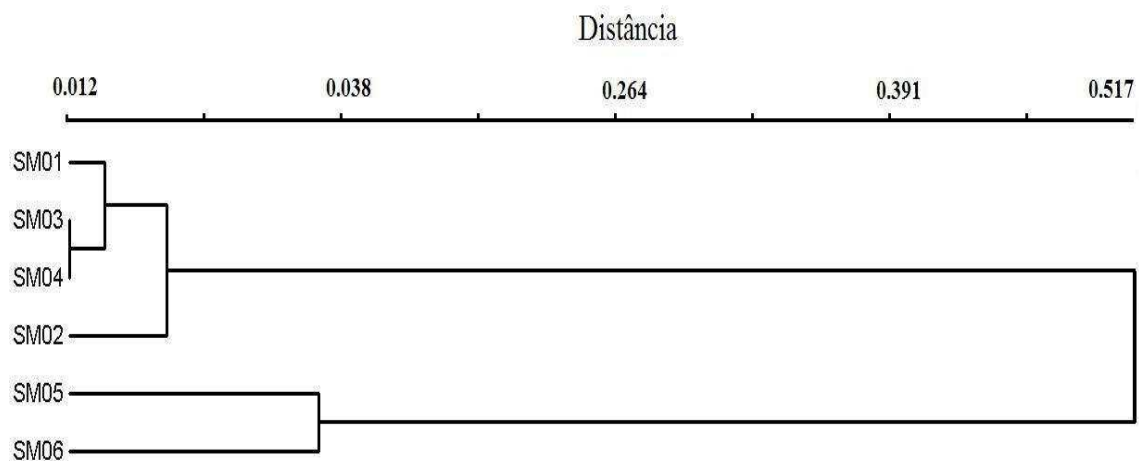


Figura 1.7: Análise de agrupamento com as variáveis limnológicas das seis estações amostrais do rio São Mateus, analisada em setembro e outubro/2010.

CAPÍTULO 2

DESCONTINUIDADE LIMNOLÓGICA SOBRE A COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA EM UM RIO TROPICAL

Artigo a ser encaminhado para publicação
na revista Hydrobiologia

Normas disponíveis em:
<http://www.springer.com/authors/journal+authors?SGWID=0-154202-0-0-0>

Resumo

Trechos do rio São Mateus foram estudado quanto aos múltiplos usos desde piscicultura intensiva (tanques-rede) ao lançamento de efluentes domésticos e industriais. Com isso este estudo objetivou avaliar a conectividade entre as estações amostrais através da estrutura da comunidade fitoplanctônica e verificar quais variáveis abióticas mais influenciaram esta comunidade. Seis estações amostrais em trechos do rio São Mateus foram determinadas: duas a montante, duas ao longo e duas a jusante da cidade de São Mateus, em setembro e outubro de 2010. Amostras de água foram coletadas à sub-superfície da coluna d'água para análise física, química e fitoplanctônica. As estações amostrais SM05 e SM06, que possuem tanques de piscicultura e lançamento de efluentes, respectivamente, foram as mais impactadas e assim apresentaram a maior biomassa e dominância de *Polymyxus coronalis* Bailey (Bacillariophyceae). Além disso, essas duas estações apresentaram similaridade florística e as classes favorecidas foram Bacillariophyceae e Cryptophyceae, diferente do observado nas outras estações amostrais. Dessa forma, conclui-se que os impactos antrópicos sobre o rio São Mateus causaram sua descontinuidade serial.

Palavras-chave: fitoplâncton, variáveis limnológicas, descontinuidade, biomassa, dominância, similaridade

Abstract

Stretches of São Mateus river was studied for the multiple uses from intensive fish farming (cages) the release of domestic and industrial effluents. Therefore this study aimed to assess the connectivity between the sampling stations throughout the structure of the phytoplankton community and see what abiotic variables most influenced this community. Six sampling stations in parts of São Mateus river were determined: two upstream, two over and two downstream of São Mateus city, in

September and October 2010. Water were collected at sub-surface water column to analyze physical, chemical and phytoplankton. The sampling station SM05 and SM06, wich have fish tanks and release of effluent, respectively, were the most impacted and thus had the highest biomass and dominace of *Polymyxus coronalis* Bailey (Bacillariophyceae). Furthermore, these two stations had similar floristic and upper classes were Bacillariophyceae and Cryptophyceae, different from that observed in other sampling station. Thus, we conclude that the human impacts on the São Mateus river caused his serial discontinuity.

Keywords: phytoplankton, limnological variables, discontinuity, biomass, dominance, similarity

Introdução

O funcionamento dos ecossistemas fluviais tem sido estudado há décadas e a primeira teoria que buscou o seu entendimento foi o Conceito de Continuidade do Rio (Vannote et al., 1980). Essa teoria postula que as características físicas ao longo do rio, desde a cabeceira até a foz, determinam a distribuição da comunidade aquática. No entanto, essa teoria se aplica a ecossistemas naturais, sem interferência antrópica, o que não se aplica ao contexto atual dos rios. O Conceito de Descontinuidade do Rio (Ward & Stanford 1983; Stanford & Ward, 2001) prevê exatamente esse rompimento da continuidade, através da alteração dos processos abióticos e bióticos, devido à construção de barragens. Posteriormente, outros estudos ampliaram a aplicação desse conceito para outros tipos de interferências antrópicas, como o lançamento de efluentes domésticos (Brigante & Espindola, 2003; Silva et al., 2010), que também estariam atuando na descontinuidade serial, inclusive da biota aquática.

Os rios constituem importante recurso devido aos seus inúmeros serviços ambientais prestados aos seres vivos. Nas últimas décadas a exploração insustentável desse recurso natural abundante e essencial, como é a água para o consumo humano, tem gerado previsões de seu esgotamento (Rocha et al., 2006). A construção de barragens, a destinação da água para o abastecimento urbano e agrícola, desmatamento, introdução de espécies exóticas, lançamento de efluentes domésticos e industriais são alguns dos usos dos sistemas fluviais com repercussão negativa na qualidade e disponibilidade de água, levando a sua escassez (Allan & Callisto, 2007; Elozegi & Sabater, 2009). Dessa forma, o monitoramento dos rios seja através de variáveis físicas, químicas e biológicas tem sido discutido como meio para se conservar esse recurso vital.

Nesse enfoque, a comunidade fitoplancônica é muito utilizada para o biomonitoramento por serem bons sensores da qualidade da água (Margalef, 1983; Reynolds, 1984). A estrutura do fitoplâncton é influenciada por vários fatores, como padrões de mistura da coluna d'água, disponibilidade de luz e nutrientes, temperatura da água e herbivoria (Reynolds, 1987). A composição de espécies, riqueza, diversidade, densidade e biomassa do fitoplâncton variam segundo as mudanças ambientais (Reynolds, 2006) e em muitos casos o aumento na concentração de nutrientes, causado pelas atividades humanas, altera a composição e contribui para o aumento da biomassa dessa comunidade (Descy & Gosselain, 1994).

Apesar da conhecida importância do fitoplâncton como produtor de oxigênio aliada a necessidade dos rios para abastecimento urbano e outros usos, fatores extremamente impactantes, como lançamento de efluentes, podem provocar cargas elevadas de nutrientes nestes ambientes e perda da qualidade da água.

Diante disso, o presente estudo objetivou avaliar a conectividade entre os pontos amostrais ao longo de trechos do rio São Mateus através da estrutura da comunidade fitoplanctônica e verificar quais variáveis abióticas mais influenciaram esta comunidade.

Considerando os diferentes graus de impactos nos trechos estudados do rio, as hipóteses da pesquisa são: (a) trechos com maior interferência antrópica terão maior biomassa e dominância de espécies fitoplanctônicas e menor diversidade; (b) trechos com impactos de mesma magnitude terão comunidade fitoplanctônica estruturalmente similar; (c) grupos fitoplanctônicos se estabelecerão diferentemente ao longo dos trechos do rio de acordo com o grau de impacto.

Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio São Mateus possui superfície aproximada de 13.842 Km² distribuídos nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O rio São Mateus (Figura 2.1) é formado pela junção dos rios Cotaxé (braço norte do rio) e Cricaré (braço sul) e está inserido em uma região de mata atlântica com clima tropical úmido e índice pluviométrico médio anual de 1300 mm (MMA, 2006; ANA, 2009). Apesar do rio São Mateus configurar como um dos principais mananciais de abastecimento público, vem sofrendo impactos antrópicos desde projetos de irrigação, retirada da mata ciliar, introdução de espécies exóticas até uso como receptor de efluentes domésticos, hospitalares e industriais (ANA, 2009).

A cidade litorânea de São Mateus, com 109.067 habitantes (IBGE, 2010), está situada às margens do rio São Mateus e, nesse contexto de ocupação do solo e uso da água, encontram-se as estações amostrais estudadas.

2.2. Amostragem e análise das variáveis limnológicas

Amostras de água foram coletadas a sub-superfície da coluna d'água em intervalos semanais, para minimizar a influência temporal, durante os meses de setembro e outubro/2010 (nos dias 08, 15 e 22/09 e 01/10). As estações amostrais estão situadas à montante da cidade de São Mateus, SM01 e SM02, e ao longo da cidade em direção a foz do rio, em sequência, SM03, SM04, SM05 e SM06 (Figura 2.1). Destas quatro últimas estações, duas estão a jusante da cidade, com influência de piscicultura intensiva (tanques-rede) e lançamento de efluentes domésticos e industriais (SM05 e SM06, respectivamente). Cada estação possui características peculiares (Tabela 2.1).

Em campo, foram determinadas: profundidade máxima (profundímetro SpeedTech), transparência da água e zona eufótica (disco de Secchi; zona eufótica, segundo Cole, 1994), pH (potenciômetro Quimis), temperatura da água, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica (sonda multiparâmetros YSI 85).

Amostras de água foram coletadas para posteriores análises de turbidez (turbidímetro Plus Microprocessado Alfakit), sólidos totais em suspensão (STS; APHA, 1992) e concentrações dos nutrientes: silicato (SiO_4^- ; Golterman et al., 1978), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT; Valderrama, 1981), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^- ; Mackereth et al., 1978), nitrogênio amoniacal (NH_4^+ ; Koroleff, 1976), e ortofosfato (PO_4^- ; Strickland & Parsons, 1960).

2.3. Análise da comunidade

As amostras para análise qualitativa foram coletadas através de arrastos horizontais com rede de 20 μm de abertura de malha e fixadas com solução de formalina a 4%. Foram analisadas oito lâminas por amostra, totalizando 32 por estação amostral, sob microscópio óptico, com objetivas em aumentos de 800 e 2000 vezes. Os organismos foram identificados até o menor nível taxonômico possível, com auxílio de bibliografia

especializada. Os Sistemas de Classificação utilizados foram: Komárek & Fott (1983) para Chlorococcales (Chlorophyceae); Komárek & Anagnostidis (1988, 1989, 1990 e 1999) para Cyanophyceae; Round (1971) para Euglenophyceae; Van Den Hoek et al. (1995) para Zygnemaphyceae; Hustedt (1930), Germain (1981), Krammer & Lange-Bertalot (1986), Simonsen (1987), Metzeltin, & Lange-Bertalot, (1998), Bigunas (2005), Wetzel (2011) para Bacillariophyceae e Bourrelly (1966, 1968 e 1970) para as demais Classes.

As amostras quantitativas foram coletadas diretamente com o frasco a subsuperfície e fixadas com solução de lugol acético 5%. Após sedimentação das amostras em câmaras (Uthermöhl, 1958), as algas foram contadas através de campos aleatórios (Uehlinger, 1964) até 400 indivíduos da espécie predominante, garantindo erro de $\pm 10\%$ para um intervalo de confiança de 95% (Lund et al., 1958). Os cálculos de densidade foram feitos conforme Weber (1973). A riqueza fitoplanctônicas foi dada pela soma das espécies encontradas nas amostras qualitativas e quantitativas.

O biovolume específico foi obtido associando a morfologia da alga com formas geométricas (Hillebrand et al., 1999; Sun & Liu, 2003) e multiplicando-se o volume médio obtido de cada espécie pela densidade da população. Foram consideradas todas as espécies que apareceram na análise quantitativa, para as quais foram medidos 20 indivíduos, com exceção daquelas raras.

Os táxons dominantes foram identificados (Lobo & Leigton, 1986) a partir da biomassa. A diversidade de espécies foi calculada com base na densidade, através do índice de Shannon-Wiener e a equitabilidade, segundo o índice de Pielou (Magurran, 2004).

2.4. Análise dos dados

As coletas semanais foram consideradas como réplicas ($n = 4$) para a abordagem de variação espacial. A normalidade dos dados foi testada através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Uma vez que os dados obtidos não apresentaram a normalidade e homocedasticidade, as diferenças nos parâmetros abióticos e bióticos entre as estações amostrais foram verificadas pelo teste de Kruskal-Wallis através do software Assistat 7.6 beta (Silva & Azevedo, 2006). Esse programa ao fazer o teste compara as médias das variáveis e atribui letras, os valores com ao menos uma letra igual são estatisticamente iguais entre si. Além disso, o maior valor se inicia com a letra *a* e seguem a sequência do alfabeto os valores seguintes.

A similaridade florística entre as estações amostrais foi medida através do índice de similaridade de Jaccard. Também para avaliar a similaridade foi feita uma Análise de agrupamento, utilizando-se a composição do fitoplâncton (presença e ausência de espécies em cada estação) e considerando-se a distância de Jaccard e o método de ligação Ward.

As relações entre as variáveis físicas, químicas e biológicas foram avaliadas através de correlações de Spearman. Foi utilizado o software Past versão 1.9 (Hammer et al., 2001). Além disso, para verificar relações entre as variáveis abióticas e bióticas nas diferentes estações amostrais, foi feita uma Análise de Correspondência Canônica (ACC), com significância pelo teste de Monte Carlo ($p = 0,05$), com 999 aleatorizações. Os dados foram transformados previamente ($\text{Log}(x+1)$) e o programa utilizado foi PCORD versão 5 (McCune & Mefford, 2006). As variáveis abióticas utilizadas foram aquelas que apresentaram valores elevados na correlação de Spearman e diferença significativa entre as estações amostrais no teste de Kruskal-Wallis.

Resultados

As médias, desvio padrão e a comparação estatística (sistema de letras) das variáveis limnológicas estão apresentados na Tabela 2.2. As estações amostrais SM05 e SM06 apresentaram os valores mais elevados das variáveis turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão e compostos nitrogenados e fosfatados (com exceção de nitrato). As estações SM01, SM02, SM03 e SM04 apresentaram valores altos de transparência e zona eufótica. O restante das variáveis abióticas não apresentou diferença significativa entre as estações.

Foi registrado um total de 227 espécies distribuídas entre as classes Bacillariophyceae (102), Chlorophyceae (44), Cyanophyceae (43), Euglenophyceae (14), Zygnemaphyceae (14), Dinophyceae (5), Oedogoniophyceae (3), Cryptophyceae (1) e Chrysophyceae (1).

A riqueza fitoplanctônica variou pouco entre as estações, sendo a maior registrada na estação SM04 (98) e a menor em SM06 (71) (Figura 2.2). Os grupos mais representativos para cada estação foram os mesmos observados para o conjunto de dados, Bacillariophyceae, Chlorophyceae e Cyanobacteria (Figura 2.2).

A densidade total média das estações amostrais foi $14.320 \text{ ind.ml}^{-1}$. No entanto não houve diferença significativa entre os pontos (Tabela 2.2). Apesar disso, a diversidade e equitabilidade apresentaram diferença entre os pontos e os maiores valores registrados foram na estação SM01 seguida da SM06 (Figura 2.3).

Houve dominância de espécies somente nas estações SM02, SM05 e SM06. *Synechocystis aquatilis* Sauvageau foi dominante em SM02 e *Polymyxus coronalis* Bailey em SM05 e SM06, que são pertencentes as classes Cyanophyceae e Bacillariophyceae, respectivamente.

O biovolume total (Tabela 2.2) foi maior nas estações SM05 e SM06, diferindo estatisticamente de SM01 e SM02. A classe que apresentou o maior biovolume nas estações SM01, SM02, SM03 e SM04 foi Cyanophyceae; enquanto Bacillariophyceae apresentou maior biovolume nas estações SM05 e SM06 (Figura 2.4).

O índice de Jaccard demonstrou que a maior similaridade florística foi registrada entre as estações SM01 e SM02 e a menor similaridade entre SM02 e SM06 (Tabela 2.3). Além disso, observou-se que a estação SM06 é a que possui as menores similaridades com as demais estações. Já a análise de agrupamento mostrou a formação de dois grandes grupos, um composto pelas estações SM05, SM06 e SM03 e outro formado pelas estações SM01, SM02 e SM04 (Figura 2.5). Essa análise também demonstrou que a distância de Jaccard entre as estações SM05 e SM06 é nula.

A maior correlação registrada entre as variáveis abióticas e bióticas foi entre biovolume e densidade de Cryptophyceae e a concentração de ortofosfato e fósforo total. O biovolume total e da classe Bacillariophyceae também apresentaram alta correlação com sólidos totais em suspensão (Tabela 2.4).

A Análise de Correspondência Canônica apresentou 89,7% de explicação da variabilidade dos dados nos dois primeiros eixos (Tabela 2.5). O eixo 1, (Figura 2.6) com 71,3% da explicação total, agrupou no seu lado negativo as estações amostrais SM01, SM02, SM03 e SM04 relacionando-as com zona eufótica, riqueza, equitabilidade, densidade total, biovolume de Cyanophyceae e Chlorophyceae. Do outro lado do eixo as estações SM05 e SM06 relacionaram-se com diversidade, turbidez, ortofosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito, biovolume total, biovolume de Cryptophyceae e Bacillariophyceae.

Discussão

A diferença na estrutura da comunidade fitoplanctônica nos trechos estudados, as dissimilaridades entre as estações amostrais, em relação as variáveis limnológicas e bióticas, e a alternância de classes nessas estações, sugere que houve o rompimento do gradiente longitudinal do rio São Mateus, possivelmente influenciado pelos usos múltiplos desse ambiente. Fontes pontuais de poluição contribuem drasticamente na quebra da conectividade dos sistemas aquáticos, principalmente em relação as variáveis físicas e químicas (Marques et al., 2003; Silva et al., 2010).

Os elevados valores de turbidez, sólidos totais em suspensão, condutividade elétrica e concentração de nitrogênio e fósforo total, são típicos de ambientes que estão sujeitos a algum impacto antrópico (Meybeck, 1982; Allan & Castillo, 2007; Dudgeon, 2008). Essas características podem ser conseqüências do sistema de piscicultura intensiva e do lançamento de efluentes domésticos (Bowes et al., 2003; Sipaúba-Tavares et al., 2010₁ e 2010₂), atividades essas registradas nas estações a jusante da cidade de São Mateus (SM05 e SM06), e que podem ter contribuído para elevar os valores da turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão e dos nutrientes.

Nessas estações (SM05 e SM06) foram também obtidos os maiores valores de biovolume total fitoplanctônico (apesar da densidade não apresentar diferença significativa entre as estações amostrais). Pesquisas tem mostrado que o aumento da biomassa da comunidade fitoplanctônica está relacionado com elevadas concentrações de nutrientes (Huszar & Caraco, 1998; Huszar, 2000), como relatado para as estações amostrais em questão. Apesar dessa elevação no biovolume algal, e da menor riqueza observada, não houve redução na diversidade e equitabilidade fitoplanctônica na estação SM06, quando comparada com as estações menos impactadas. Ao contrário, essa estação apresentou diversidade abaixo somente da estação SM01. Isso pode ser

consequência do aumento da trofia do ambiente, uma vez que é observado um acréscimo na concentração de compostos nitrogenados e fosfatados em SM05 e SM06. Segundo Lamparelli (2004), a eutrofização pode ter efeito positivo sobre a diversidade devido a redução da competição por recursos alimentares.

O aumento no aporte de nutrientes pode beneficiar também espécies fitoplanctônicas que possuem vantagens adaptativas, ocasionando a sua dominância no ambiente aquático (Rodrigo et al., 2009). Isso foi evidenciado nas estações amostrais SM05 e SM06 do rio São Mateus onde a espécie *Polymyxus coronalis* foi favorecida pelo aumento dessas variáveis limnológicas. Essa espécie possui como vantagem diante dos outros organismos o elevado biovolume, o que lhe permite ser uma boa captadora de luz e predominar em ambientes turbidos, como é o caso das estações amostrais SM05 e SM06.

Polymyxus coronalis é indicadora de ambiente salobro (Paiva et al., 2006), isso também poderia explicar sua dominância nas estações SM05 e SM06, que estão situadas mais próximas da foz do rio, apesar de não ter sido registrada diferença significativa na salinidade entre as estações.

A variação nas condições limnológicas (variáveis abióticas) contribui para a mudança na composição de espécies (Reynolds, 1997; Huszar et al., 2005). Assim, no Rio São Mateus, os trechos que possuem características limnológicas semelhantes, como ficou evidente nas estações SM05 e SM06, serão floristicamente mais similares. Tal fato foi confirmado pela análise de Jaccard e de agrupamento, indicando que as estações SM05 e SM06 sofrem impacto de mesma magnitude e diferentes de SM01 e SM02. Para as estações amostrais SM03 e SM04 isso não ficou evidente. Alguns estudos (Chellappa et al., 2009; Câmara et al., 2009) demonstram que diferentes usos do

solo no entorno de ambientes lóticos alteram a composição de espécies, ocasionado o agrupamento de estações amostrais segundo o grau de impacto sofrido.

As classes fitoplanctônicas favorecidas no rio São Mateus pelo aumento na concentração de nutrientes nas estações SM05 e SM06 foram Bacillariophyceae e Cryptophyceae, como apontado pelos dados de biovolume e confirmados pela correlação de Spearman e Análise de Correspondência Canônica.

As bacilariofíceas são favorecidas em ambientes lóticos, que possuem como características elevada turbulência e baixa transparência, devido a presença de carapaça de sílica e pigmentos acessórios (Stevenson, 1996; Biggs, 1998). O elevado volume celular da espécie dominante *Polymyxus coronalis* contribuiu para o significativo aumento dessa classe nas estações SM05 e SM06. Já as Cryptophyceae, ocorrem com frequência em ambientes com elevada trofia (Bicudo et al., 2009) e possuem a vantagem de serem mixotróficos (Tucci et al., 2011).

Por outro lado, a classe Cyanophyceae relacionou-se com trechos do rio com melhor qualidade da água, maior zona eufótica e maior riqueza. As cianobactérias (Cyanophyceae) formam um grupo de algas extremamente oportunistas (Huzsar et al., 2000), sendo capazes de utilizar eficazmente as formas nitrogenadas (Whitton, 1992). Apesar de não ser um grupo importante na comunidade fitoplanctônica de ambientes lóticos (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008), essas características das cianobactérias podem explicar sua elevada biomassa em trechos do rio São Mateus com menor disponibilidade de nutrientes.

Dessa forma, com base na estrutura e similaridade florística e na ocorrência diferenciada de classes ao longo dos trechos estudados, fica evidente que os impactos antrópicos sobre o rio São Mateus causaram sua descontinuidade do rio, como constatado pela análise de correspondência canônica e análise de agrupamento. Assim,

o indiscriminado uso do solo e da água, como o lançamento de efluentes e o uso para piscicultura intensiva, causam alteração no funcionamento do rio e perda da qualidade da água.

Agradecimentos

À Associação de Pescadores de São Mateus (APESAM) pela disposição em ajudar e pelo apoio logístico e ao Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual Norte Fluminense pela ajuda na análise do nitrogênio amoniacal.

Tabela 2.1: Caracterização das estações amostrais do rio São Mateus.

Estações amostrais	Coordenadas geográficas	Localização	Principal característica
SM01	S 18° 41.703' W 39° 52.084'	M - Estação de captação de Água CESAN	Mata Ciliar preservada
SM02	S 18° 42.284' W 39° 52.728'	M – Anterior a ponte da Br101-Norte	Mata Ciliar pouco preservada
SM03	S 18° 42.836' W 39° 51.642'	C - Estação de captação de água SAAE	Núcleo urbano
SM04	S 18° 42.659' W 39° 51.246'	C - Sítio histórico da cidade	Lançamento de efluente doméstico sem tratamento
SM05	S 18° 43.112' W 39° 48.853'	J – Sistema de Tanques de piscicultura da APESAM	150 tanques de piscicultura de tilápia (<i>Oreochromis sp.</i>) no entorno
SM06	S 18° 43.217' W 39° 48.822'	J – APESAM	Lançamento de efluente doméstico e industrial sem tratamento

M=Montante da cidade de São Mateus; C=Ao longo da cidade de São Mateus; J=Jusante da cidade de São Mateus; CESAN=Companhia Espírito Santense de Saneamento; SAAE= Serviço Autônomo de Água e Esgoto; APESAM=Associação de Pescadores de São Mateus.

Tabela 2.2: Média e Erro padrão das variáveis limnológicas e bióticas do rio São Mateus nos quatro períodos amostrados. As letras e o *p*-valor são dados pelo programa Assistat no teste Kruskal-Wallis, mostrando a proximidade das estações amostrais.

Características:	Média (EP)						
limnológicas	SM01	SM02	SM03	SM04	SM05	SM06	<i>P</i> -valor
Prof (m)	4,32 ^b (1,07)	3 ^e (0)	3,55 ^c (0,05)	3,3 ^d (0,47)	3,45 ^d (0,64)	8,2 ^a (0,90)	*
pH	7,32 ^a (0,09)	7,3 ^a (0,14)	7,3 ^a (0,21)	7,22 ^a (0,18)	7,25 ^a (0,12)	7,32 ^a (0,12)	ns
Transp (m)	0,7 ^b (0,23)	0,72 ^{ab} (0,20)	0,72 ^a (0,20)	0,66 ^b (0,13)	0,3 ^c (0,16)	0,22 ^d (0,08)	*
ZE (m)	2,1 ^b (0,70)	2,17 ^{ab} (0,61)	2,17 ^a (0,60)	1,98 ^b (0,39)	0,9 ^c (0,50)	0,67 ^d (0,25)	*
Turb (NTU)	12,86 ^b (7,89)	10,58 ^{bc} (4,03)	9,47 ^{bc} (3,36)	9,64 ^c (4,17)	36,33 ^a (9,78)	37,99 ^a (9,36)	*
STS (mg.L ⁻¹)	3,2 ^{de} (2,08)	5,77 ^c (4,01)	2,67 ^e (2,61)	3,92 ^{cd} (1,79)	19,5 ^a (6,78)	14,17 ^b (11,88)	*
CE (μS.cm ⁻¹)	210 ^c (6,05)	210,42 ^c (5,37)	213 ^c (10,94)	213,1 ^c (11,01)	309,57 ^a (75,63)	259,02 ^b (32,26)	*
Sali	0,1 ^a (0)	0,1 ^a (0)	0,1 ^a (0)	0,1 ^a (0)	0,125 ^a (0,05)	0,1 ^a (0)	ns
OD (mg.L ⁻¹)	4,93 ^a (0,61)	4,85 ^a (0,59)	4,74 ^a (0,58)	4,87 ^a (0,47)	3,89 ^a (0,50)	4,86 ^a (0,67)	ns
Temp (°C)	25,55 ^a (2,05)	25,7 ^a (1,82)	25,7 ^a (1,56)	25,72 ^a (1,63)	26,3 ^a (1,29)	26,2 ^a (1,04)	ns
SiO ₄ ⁻ (mg.L ⁻¹)	7,74 ^a (0,13)	7,61 ^a (0,31)	7,61 ^a (0,43)	7,24 ^a (0,80)	7,57 ^a (0,22)	7,20 ^a (1,14)	ns
PO ₄ ³⁻ (mg.L ⁻¹)	0,016 ^c (0)	0,011 ^e (0)	0,014 ^d (0)	0,014 ^{cd} (0)	0,044 ^b (0,04)	0,067 ^a (0,07)	*
PT (mg.L ⁻¹)	0,033 ^{bc} (0)	0,029 ^{cd} (0)	0,034 ^b (0,01)	0,028 ^d (0)	0,066 ^a (0,01)	0,113 ^a (0,09)	*
NO ₂ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,001 ^{bc} (0)	0,002 ^c (0)	0,001 ^c (0)	0,002 ^b (0)	0,010 ^a (0)	0,012 ^a (0)	*
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	0,095 ^a (0,03)	0,108 ^a (0,03)	0,126 ^a (0,04)	0,150 ^a (0,05)	0,158 ^a (0,02)	0,126 ^a (0,01)	ns
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	0,01025 ^{cd} (0)	0,01450 ^{bc} (0)	0,00925 ^d (0)	0,01600 ^b (0)	0,28800 ^a (0,04)	0,32875 ^a (0,08)	*
NT (mg.L ⁻¹)	0,45225 ^d (0,02)	0,51875 ^c (0,08)	0,53800 ^c (0,06)	0,60750 ^b (0,11)	0,89375 ^a (0,10)	0,86625 ^a (0,14)	*

Diversid	0,4862 ^a	0,190675 ^e	0,3085 ^c	0,27967 ^d	0,25541 ^d	0,42625 ^b	*
	(0,29)	(0,03)	(0,06)	(0,02)	(0,11)	(0,06)	
Equitabi	0,29257 ^a	0,12233 ^d	0,1679 ^b	0,1442 ^c	0,1259 ^{cd}	0,20137 ^a	*
	(0,16)	(0,03)	(0,02)	(0,008)	(0,04)	(0,03)	
Densi Total							ns
(ind.mL ⁻¹)	13934,1 ^a	11929,5 ^a	14807,0 ^a	12533,9 ^a	16925,1 ^a	15792,6 ^a	
	(2009,0)	(3126,1)	(1214,1)	(2364,8)	(3244,6)	(1695,6)	
Bio Total							*
(μm ³ .L ⁻¹)	142524,8 ^{bc}	111805,9 ^{bc}	194562,6 ^b	177114,9 ^b	1474345 ^{ab}	697143 ^{ab}	
	(90416,6)	(46686,3)	(114163)	(80404,0)	(149641)	(858114)	

Prof=Profundidade; Transp=Transparência; ZE=Zona eufótica; Turb=Turbidez; STS=Sólidos torais em suspensão; CE=Condutividade elétrica; Sali= Salinidade; OD=Oxigênio dissolvido; Temp=Temperatura da água; SiO₄=Silicato; PO₄³⁻=Ortofosfato; PT=Fósforo total; NO₂⁻=Nitrito; NO₃⁻=Nitrato; NH₄⁺=Nitrogênio amoniacal; NT=Nitrogênio total; Diversid=Diversidade; Equitabi=Equitabilidade; Densi Total=Densidade Total; Bio Total=Biovolume total; *=*p* < 0,05; ns=não significativo

Tabela 2.3: Matriz de similaridade (Índice de Jaccard) obtida para as seis estações amostrais no rio São Mateus durante o período estudado. Valores em porcentagem.

	SM01	SM02	SM03	SM04	SM05	SM06
SM01	100					
SM02	42,8571429	100				
SM03	30,952381	32	100			
SM04	33,834586	34,84848	29,78723	100		
SM05	21,73913	35,48387	30,07519	29,16667	100	
SM06	24,793388	19,84127	20	25,18519	26,19048	100

Tabela 2.4: Coeficientes de correlação das variáveis abióticas e bióticas do rio São Mateus sobre os dois primeiros eixos da CCA.

Variáveis abióticas	Coeficiente Canônico		Correlação Intra-set	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
ZE (Zona eufótica)	-8,442	-8,674	-0,870	-0,034
STS (Sólidos totais em suspensão)	-1,994	0,212	0,737	0,371
NH ₄ ⁺ (Nitrogênio amoniacal)	13,571	4,295	0,869	0,108
PT (Fósforo total)	18,651	96,942	0,770	-0,167
PO ₄ ³⁻ (ortofosfato)	-139,462	-285,781	0,829	-0,116

Variáveis bióticas	Coeficientes Canônicos	
	Eixo 1	Eixo 2
Riqueza	-0,2880	0,0486
Diversidade	0,0153	-1,4429
Equitabilidade	-0,0632	-1,5063
Bio (Biovolume Total)	0,0200	0,1037
Dens (Densidade Total)	-0,2284	0,0080
Bac (Biovolume Bacillariophyceae)	0,4440	0,0826
Chl (Biovolume Chlorophyceae)	-0,0156	0,0527
Cry (Biovolume Cryptophyceae)	0,0973	-0,2847
Cya (Biovolume Cyanophyceae)	-0,2270	0,0308

Tabela 2.5: Correlação de Spearman entre as variáveis bióticas e abióticas do rio São Mateus. Os dados apresentados são os que possuem correlação significativa ($p < 0,05$).

	Prof	Transp	ZE	Turb	STS	pH	CE	Sali	OD	Temp	NH ₄ ⁺	NT	SiO ₄ ⁻	PO ₄ ³⁻	PT	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
Riqueza						-0,9103											
Diversid																	
Equitabi																	
Bio-T		-0,8342	-0,8342	0,8649	0,9557			0,9147	-0,9004	0,9157	0,8474	0,8845				0,8153	
Bio-Bac		-0,8174	-0,8174	0,851	0,9503			0,9255	-0,9133	0,9066	0,8326	0,872					
Bio-Cya		-0,8215	-0,8215	0,7795			0,8233			0,9028	0,8192	0,9209					
Bio-Chl							0,9034	0,9592	-0,9469								
Bio-Cry	0,911	-0,8967	-0,8967	0,8605							0,8767			0,9641	0,9675	0,8817	
Dens-T				0,8195			0,8376										
Dens-Bac																	
Dens-Cya							0,8567			0,887	0,8148	0,8666					
Dens-Chl																	
Dens-Cry	0,911	-0,8967	-0,8967	0,8605							0,8767			0,9641	0,9675	0,8817	

Prof=Profundidade; Transp=Transparência; ZE=Zona eufótica; Turb=Turbidez; STS=Sólidos totais em suspensão; CE=Condutividade elétrica; Sali= Salinidade; OD=Oxigênio dissolvido; Temp=Temperatura da água; SiO₄=Silicato; PO₄³⁻=Ortofosfato; PT=Fósforo total; NO₂=Nitrito; NO₃⁺=Nitrogênio amoniacal; NT=Nitrogênio total; Diversid=Diversidade; Equitabi=Equitabilidade; Bio-T=Biovolume; Bio-Bac=Biovolume Bacillariophyceae; Bio-cya=Biovolume Cyanophyceae; Bio-Chl=Biovolume Chlorophyceae; Bio-Cry=Biovolume Cryptophyceae; Dens-T=Densidade Total; Dens-Bac=Densidade Bacillariophyceae; Dens-Cya=Densidade Cyanophyceae; Dens-Chl=Densidade Chlorophyceae; Dens-Cry=Densidade Cryptophyceae

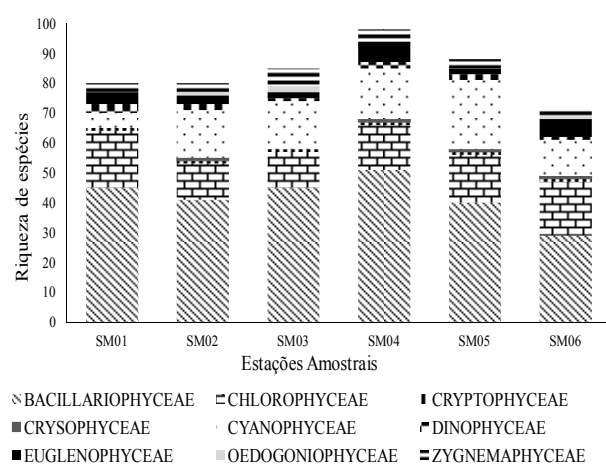


Figura 2.2: Riqueza de espécies e sua distribuição nas classes taxonômicas nas estações amostrais do rio São Mateus durante setembro e outubro de 2010.

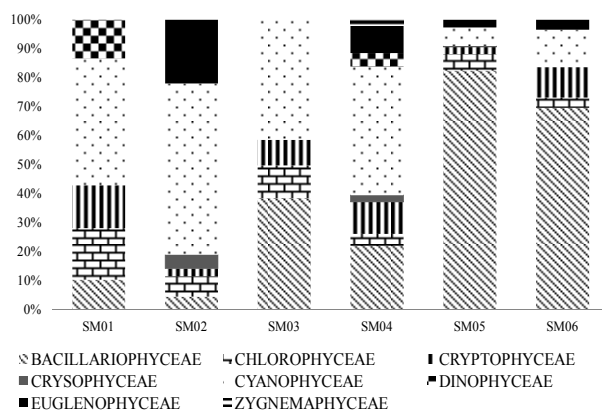


Figura 2.3: Abundância relativa do Biovolume das classes fitoplanctônicas do rio São Mateus.

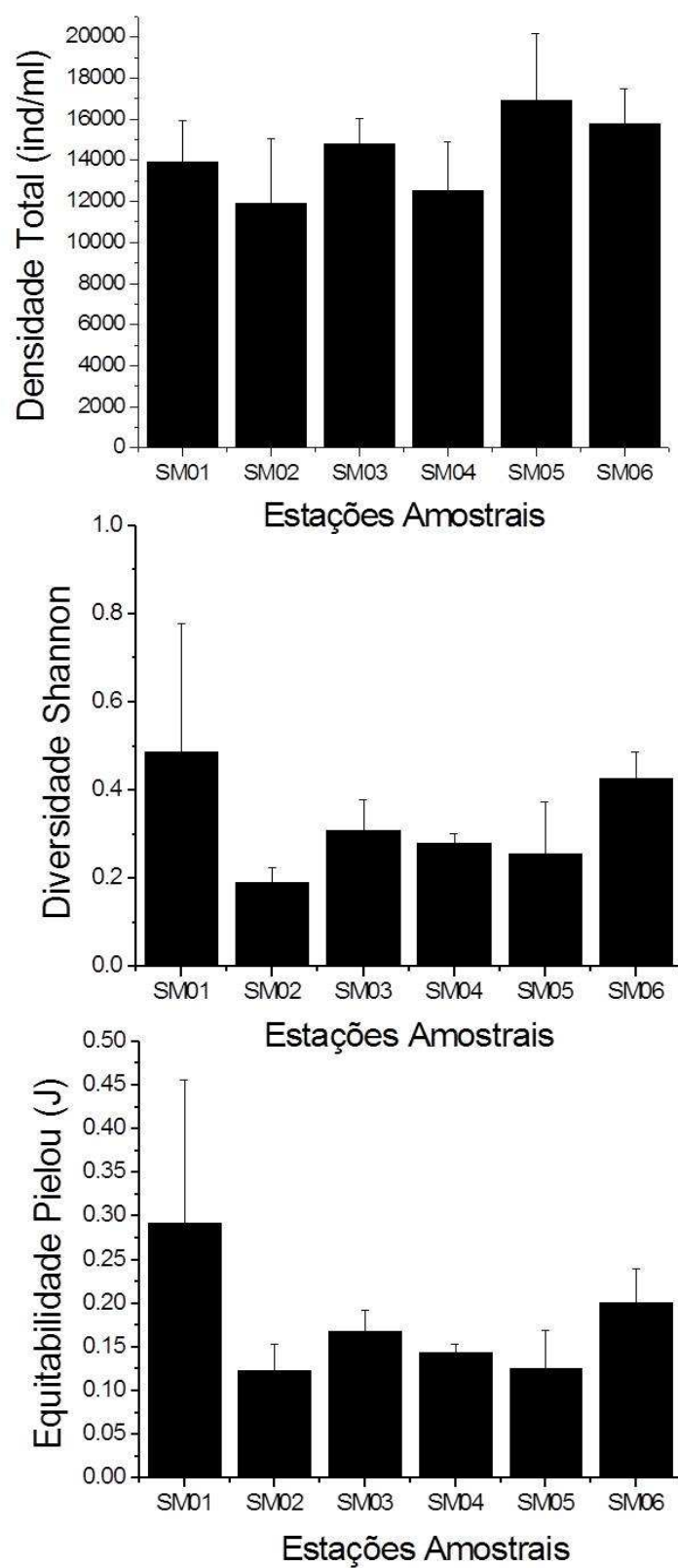


Figura 2.4: Densidade, Diversidade e Equitabilidade das estações amostrais do rio São Mateus durante setembro e outubro de 2010.

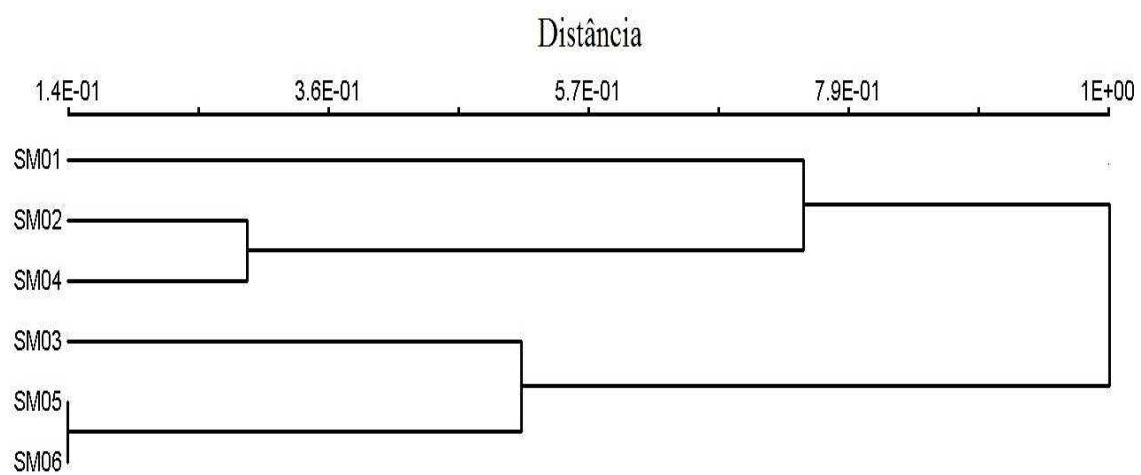


Figura 2.5: Análise de agrupamento das estações amostrais do rio São Mateus, considerando a presença e ausência de espécies durante o período estudado.

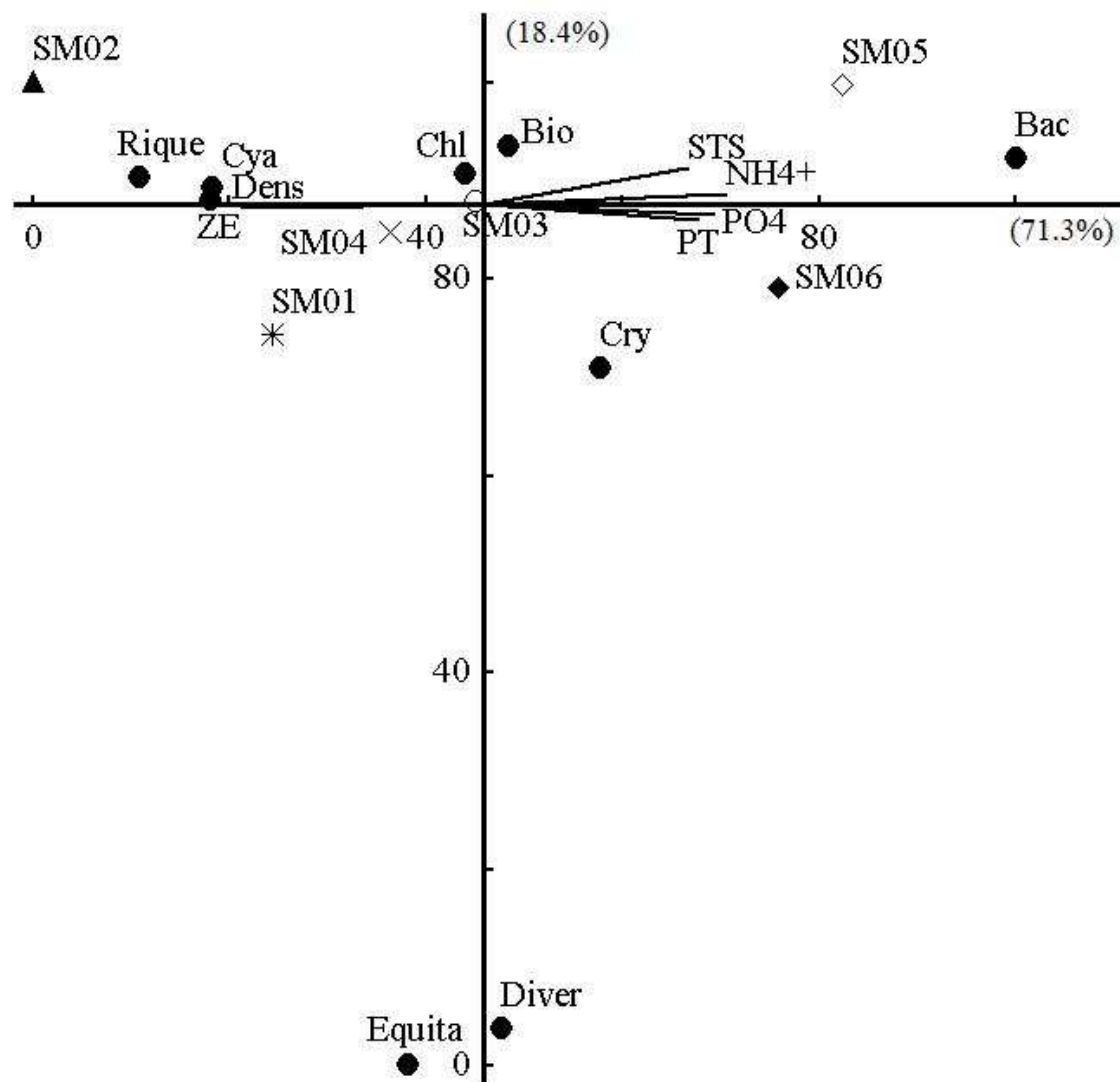


Figura 2.6: Ordenação pela Análise de correspondência canônica (CCA) das variáveis bióticas e abióticas para as seis estações amostrais do rio São Mateus em setembro e outubro de 2010. Variáveis descritoras: Zona eufótica (ZE); Fósforo total (PT); Ortofosfato (PO_4^{3-}), Nitrogênio amoniacal (NH_4^+); Sólidos totais solúveis (STS); Equitabilidade (Equita); Diversidade (Diver); Riqueza (Rique); Biovolume de Cyanophyceae (Cya); Densidade Total (Dens); Biovolume Chlorophyceae (Chl); Biovolume Total (Bio); Biovolume Cryptophyceae (Cry); Biovolume Bacillariophyceae (Bac).

Anexo 2.1: Presença e ausência de espécies nas estações amostrais do rio São Mateus.

TAXON	SM01	SM02	SM03	SM04	SM05	SM06
BACILLARIOPHYCEAE						
<i>Achnanthes elata</i> (Leuduger-Fortmorel) Gandhi	X	X				
<i>Amphora coffeaeformis</i> (Agardh) Kutzing	X	X	X	X		X
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	X	X		X		
<i>Aulacoseira</i> sp				X		
<i>Bacillaria paxillifera</i> Hendey	X	X	X	X	X	
<i>Capartogramma crucicola</i> (Grunow ex. Cleve) Ross	X	X				
<i>Cavinula</i> sp				X		
<i>Centrales</i> 1		X			X	
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutzing	X	X	X	X	X	X
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutzing cf.	X	X	X		X	X
<i>Cyclotella</i> sp1					X	
<i>Cyclotella</i> sp2			X			
<i>Cocconeis aestuarii</i> Hustedt					X	
<i>Cocconeis fluviatilis</i> Wallace		X	X	X	X	
<i>Cocconeis fluviatilis</i> Wallace cf.	X		X	X		X
<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg		X	X		X	
<i>Cocconeis neothumensis</i> Krammer					X	X
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) van Heurck	X	X	X	X		
<i>Cymbellopsis apiculata</i> Krammer	X	X		X		
<i>Diademesmis</i> sp.						X
<i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cleve	X			X		
<i>Diploneis aestuarii</i> (Hustedt)			X		X	
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) Mann	X	X	X	X	X	
<i>Encyonema simile</i> Krammer cf.	X	X	X	X	X	
<i>Encyonema</i> sp.	X					
<i>Eunotia crassula</i> Metzeltin & Lange-Bertalot cf.			X			
<i>Eunotia didyma</i> Hustedt ex Zimmerman	X	X				

<i>Eunotia formica</i> Ehremberg	X	X	X			
<i>Eunotia</i> sp1				X		X
<i>Eunotia</i> sp2						X
<i>Eunotia</i> sp3				X		
<i>Eunotia</i> sp4		X				
<i>Eunotia trigibba</i> Hustedt	X					
<i>Fragilaria crassa</i> Metzeltin & Lange-Bertalot				X		
<i>Fragilaria fragilarioides</i> (Grunow) Cholak			X	X		
<i>Fragilaria</i> sp1		X				
<i>Fragilaria</i> sp2	X	X	X	X		
<i>Fragilaria</i> sp3	X					
<i>Geissleria aikenensis</i> (Patrick) Torgan & Oliveira	X	X	X	X		X
<i>Geissleria similis</i> (Krasske) Lange-Bertalot & Metizelti			X		X	X
<i>Gomphonema affine</i> var. <i>rhombicum</i> (Kutzing) Reichardt			X			
<i>Gomphonema gibberum</i> Hustedt				X		
<i>Gomphonema gracile</i> Ehremberg				X	X	
<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>lagenula</i> (Kutzing) Frenguelli				X	X	X
<i>Gomphonema</i> sp1				X		
<i>Gomphonema</i> sp2	X		X			
<i>Gomphonema turris</i> var. <i>coarctata</i> (Frenguella) Frenguella		X			X	X
<i>Gyrosigma nodiferum</i> (Grunow) Reimer	X	X	X	X	X	
<i>Gyrosigma peisonis</i> (Grunow) Hustedt					X	X
<i>Hydrosera Whampoensis</i> (Schwartz) Deby				X		
<i>Luticola mutica</i> (Kutzing) Mann	X	X			X	X
<i>Navicula ambigua</i> (Ehrenberg) Mann				X		
<i>Navicula Jacobii</i> Manguim	X	X		X	X	
<i>Navicula lundii</i> Reichardt	X		X	X	X	X
<i>Navicula</i> sp1	X	X	X	X		X
<i>Navicula</i> sp2		X	X		X	

<i>Nitzchia brevissima</i>	X			X		
<i>Nitzchia clausii</i> Hantzsch		X			X	
<i>Nitzchia gracilis</i> Hantzsch	X	X				X
<i>Nitzchia intermedia</i> Hantzsch ex. Cleve & Grunow					X	
<i>Nitzchia intermedia</i> Hantzsch ex. Cleve & Grunow cf.		X			X	
<i>Nitzchia palea</i> (Kutzing) Smith					X	
<i>Nitzchia</i> sp1				X		
<i>Nitzchia</i> sp2				X		
<i>Nitzchia</i> sp3					X	
<i>Nitzchia</i> sp4					X	
<i>Nitzchia vermiculares</i> (Kutzing) Hantzsch	X	X	X	X	X	
<i>Opephora</i> sp1	X	X		X		
<i>Opephora</i> sp2	X	X	X	X	X	
Pennales 1						X
Pennales 2			X			
Pennales 3						X
Pennales 4					X	
Pennales 5			X			
Pennales 6			X			
<i>Pinnularia divergens</i> Smith			X			
<i>Pinnularia domingensis</i> var. <i>dominguensis</i> (Cleve) Hustedt cf.	X		X			
<i>Pinnularia</i> sp1				X		
<i>Pinnularia</i> sp2		X				
<i>Pinnularia tabellaria</i> Ehrenberg cf.			X	X		
<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	X					
<i>Planothidium rostatum</i> (Ostrup) Lange-Bertalot	X	X	X	X	X	X
<i>Planothidium</i> sp1	X					
<i>Planothidium</i> sp2						X
<i>Planothidium</i> sp3						X

<i>Pleurosira laevis</i> (Ehrenberg) Compere	X	X	X	X	X	
<i>Polymyxus coronalis</i> Bailey	X	X	X	X	X	X
<i>Staurosira construens</i> var. <i>venter</i> (Ehrenberg) Grunow	X		X		X	
<i>Staurosira pinnata</i> (Ehrenberg) Willians & Round		X		X	X	
<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg	X	X	X	X		
<i>Surirella</i> sp1	X		X	X		
<i>Surirella</i> sp2			X	X	X	
<i>Surirella</i> sp3	X	X	X	X	X	X
<i>Surirella</i> sp4	X		X			X
<i>Surirella</i> sp5	X			X		X
<i>Synedra gouldarii</i> Brébisson ex Cleve & Grunow	X	X	X	X		
<i>Synedra</i> sp			X			X
<i>Terpisinoe musica</i> Ehrenberg	X	X	X	X	X	X
<i>Terpisinoe petitiana</i> (Leuduger-Fortmorel) Henderg				X		
<i>Tryblionella victoriae</i> Grunow			X		X	
<i>Ulnaria</i> sp				X		X
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compere				X		
CHLOROPHYCEAE						
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i> Korsikov	X					
Characioideae 1	X					
<i>Chlorella vulgaris</i> Beij	X					X
Chlorococcales 1	X		X			
Chlorococcales 2					X	
Chlorococcales 3	X	X	X	X	X	X
Chlorococcales 4					X	
Chlorococcales 5						X
Chlorococcales 6						X
Chlorococcales 7	X					X
Chlorococcales 8				X		X

<i>Closteriopsis</i> sp1	X			X		
<i>Closteriopsis</i> sp2					X	
<i>Closteriopsis</i> sp3						X
<i>Coelastrum microporum</i> Nageli	X			X		
<i>Desmodesmus armatus</i> (Chodat) Hegewald var. <i>spinosus</i> (Tritsch & Rich) Hegewald	X	X		X		
<i>Desmodesmus maximus</i> (West & West) Hegewald				X		
<i>Desmodesmus opoliensis</i> (Richter) Hegewald var. <i>mononensis</i> (Chodat) Hegewald	X	X			X	X
<i>Desmodesmus</i> sp1					X	X
<i>Desmodesmus</i> sp2	X	X	X			
<i>Desmodesmus</i> sp3		X		X		
<i>Desmodesmus</i> sp4				X		
<i>Desmodesmus</i> sp5				X		
<i>Desmodesmus</i> sp6			X			
<i>Desmodesmus</i> sp7					X	X
<i>Golenkinia brevispina</i> Korshikov cf.	X					X
<i>Hapalosiphon</i> sp.			X		X	
<i>Hydrianum</i> sp.	X	X	X	X	X	X
<i>Kirchneriella contorta</i> (Schmidle) Bohl var. <i>elegans</i> (Playf.) Komarek	X	X		X	X	
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák					X	
<i>Oocystis pusilla</i> Hansgerg				X	X	
<i>Pedistrum duplex</i> Meyen			X			
<i>Scenedesmus costato-granulatus</i> Skiya cf.	X	X	X	X	X	
<i>Scenedesmus</i> sp.	X					
<i>Schoederia antillarum</i> Komarek	X		X	X	X	X
<i>Tetrastrum</i> sp1		X	X	X	X	X
<i>Tetrastrum</i> sp2						X
<i>Treubaria</i> sp.	X					
<i>Ulothrix</i> sp1						X
<i>Ulothrix</i> sp2		X				

<i>Ulothrix</i> sp3			X			
<i>Ulothrix</i> sp4						X
<i>Uronema</i> sp.		X	X		X	X
CRYPTOPHYCEAE						
<i>Cryptomonas</i> sp.		X	X	X	X	X
CRYSOPHYCEAE						
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg	X	X				
<i>Mallomonas</i> sp.			X		X	X
CYANOPHYCEAE						
<i>Aphanocapsa elachista</i> West cf.						
<i>Aphanotece</i> sp.						X
<i>Calothrix</i> sp1			X			
<i>Calothrix</i> sp2		X			X	
<i>Calothrix</i> sp3			X		X	
Chroococcales 1						X
Chroococcales 2					X	
<i>Chroococcus minutus</i> (Kutzing) Nageli					X	X
<i>Coelastrum</i> sp.					X	
<i>Geitlerinema</i> sp.						X
<i>Leptolyngbya</i> sp1			X			
<i>Leptolyngbya</i> sp2					X	X
<i>Leptolyngbya tenuis</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek						X
<i>Lyngbya aerugineo-caeruba</i> (Kutzing) Gomont cf.		X			X	
<i>Lyngbya comperei</i> Senna cf.			X		X	X
<i>Lyngbya lagerheimii</i> Gomont			X			X
<i>Lyngbya orientalis</i> (West) Compere		X			X	X
<i>Lyngbya perelegans</i> Lemmermann		X	X		X	
<i>Lyngbya</i> sp1		X	X			X
<i>Lyngbya</i> sp2						X
<i>Lyngbya</i> sp3		X	X		X	

<i>Merismopedia</i> sp1		X					
<i>Merismopedia</i> sp2			X				
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	X	X		X	X	X	
<i>Oscillatoria pseudogeminata</i> Schmid cf.		X		X	X		
<i>Oscillatoria simplicissima</i> Gomont cf.					X		
<i>Oscillatoria</i> sp1		X					
<i>Oscillatoria</i> sp2					X		
<i>Oscillatoria</i> sp3							X
<i>Oscillatoria</i> sp4					X		
<i>Oscillatoria</i> sp5							X
<i>Oscillatoria</i> sp6					X		
<i>Phormidium</i> sp1			X				X
<i>Phormidium</i> sp2		X			X		
<i>Phormidium</i> sp3					X		
<i>Phormidium</i> sp4			X		X		
<i>Planktolyngbya</i> sp.		X	X		X		
<i>Pseudanabaena</i> sp1				X			
<i>Pseudanabaena</i> sp2		X	X	X	X	X	
<i>Synechococcus nidulans</i> (Pringsheim) Komárek	X	X	X	X	X	X	
<i>Synechococcus</i> sp.	X	X	X	X	X	X	
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	X	X	X	X	X	X	
<i>Xenococcus</i> sp.			X				
DINOPHYCEAE							
<i>Gymnodinium</i> sp1	X			X	X	X	
<i>Gymnodinium</i> sp2	X	X					
<i>Peridinium</i> sp1							
<i>Peridinium</i> sp2	X	X					
<i>Peridinium</i> sp3			X	X	X		
EUGLENOPHYCEAE							
<i>Euglena mutabilis</i> Schmitz cf.			X				
<i>Euglena</i> sp1				X		X	

<i>Lepocinclis fusiformis</i> (Carter) Lemmermand				X		
<i>Phacus</i> sp1	X					X
<i>Phacus</i> sp2			X			
<i>Phacus</i> sp3	X					
<i>Phacus</i> sp4				X		
<i>Phacus</i> sp5		X				
<i>Trachelomonas cylindrica</i> Ehrenberg cf.	X	X				
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) Deflandi var. <i>hispida</i> Bourrelly				X	X	X
<i>Trachelomonas pulcherrima</i> Playfair cf.				X		X
<i>Trachelomonas</i> sp1				X		
<i>Trachelomonas</i> sp2						X
<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg	X	X		X	X	X
OEDOGONIOPHYCEAE						
<i>Oedogonium</i> sp1			X			X
<i>Oedogonium</i> sp2			X			
<i>Oedogonium</i> sp3		X				
ZYGNEMAPHYCEAE						
<i>Closterium</i> sp1			X			
<i>Closterium</i> sp2	X	X				
<i>Closterium</i> sp3				X	X	
<i>Closterium</i> sp4			X			
<i>Closterium</i> sp5					X	
<i>Closterium</i> sp6				X		X
<i>Closterium</i> sp7					X	X
<i>Cosmarium</i> sp1			X			
<i>Cosmarium</i> sp2		X		X		
<i>Cosmarium</i> sp3		X	X	X		
<i>Cosmarium</i> sp4	X					
<i>Spirogyra</i> sp.			X			
<i>Staurostrum</i> sp.	X		X			

CAPÍTULO 3

USO DE GRUPOS FUNCIONAIS FITOPLANCTÔNICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ECOLÓGICA EM UM RIO TROPICAL

Artigo a ser encaminhado para publicação
na revista Hydrobiologia

Normas disponíveis em:
<http://www.springer.com/authors/journal+authors?SGWID=0-154202-0-0-0>

Resumo

O objetivo do trabalho é avaliar o uso de grupos funcionais fitoplanctônicos como indicadores da qualidade ecológica do rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. Seis estações amostrais foram determinadas em trechos do rio, a montante (SM01 e SM02), ao longo (SM03 e SM04) e a jusante (SM05 e SM06) da cidade de São Mateus, em setembro e outubro de 2010. Amostras de água foram coletadas à sub-superfície da coluna d'água para análises físicas, químicas, físico-químicas e do fitoplâncton. O índice de estado trófico foi determinado segundo Toledo et al. (1983). As espécies consideradas descritoras foram agrupadas em grupos funcionais. As estações SM05 e SM06 foram consideradas mesotróficas e as outras estações oligotróficas. A análise de componentes principais separou as estações SM05 e SM06 das demais estações relacionando-as com elevados valores das variáveis limnológicas (nutrientes, com excessão do nitrito, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão, turbidez e índice de estado trófico). Foram identificados nove grupos funcionais: X1, X2, Y, L_O, D, T_B, T_D, W2 e C. O grupo funcional L_O foi o que mais contribuiu para a biomassa total nas estações SM01, SM02, SM03 e SM04, e o grupo funcional D nas estações SM05 e SM06. A análise de agrupamento da biomassa dos grupos funcionais agrupou as estações SM01, SM02, SM03 e SM04, a estação SM06 esteve mais próxima desse grupo enquanto a SM05 apresentou a maior distância. A análise de correspondência canônica separou as estações SM05 e SM06 e relacionou-as com o grupo funcional D e com nitrogênio total, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão, ortofosfato e o índice de estado trófico. Dessa forma, os grupos funcionais demonstraram ser excelente ferramenta para o biomonitoramento do rio São Mateus, a detecção de impactos, do rompimento da continuidade do rio e evidênciação de perda da qualidade da água.

Palavras-chave: grupo funcional fitoplanctônico; impactos; biomonitoramento; descontinuidade; trofia

Abstract

The objective of this study is to evaluate the use of phytoplankton functional groups as indicators of ecological quality of São Mateus river, Espírito Santo, Brazil. Six sampling stations were determined in portions of the river upstream (SM01 and SM02), along (SM03 and SM04) and downstream (SM05 and SM06) from São Mateus city, in September and October 2010. Water samples were collected at sub-surface water column for physical, chemical, physico-chemical and phytoplankton. The trophic state index was determined according to Toledo et al. (1983). Species considered descriptors were grouped into functional groups. Stations SM05 and SM06 were considered mesotrophic and oligotrophic other stations. The principal component analysis separated stations SM05 and SM06 from other stations linking them with high values of the limnological variables (nutrients, with the exception of nitrite, electrical conductivity, total suspended solids, turbidity and trophic state index). We identified nine functional groups: X1, X2, Y, L_O, D, T_B, T_D, W2 and C. The functional group L_O was the largest contributor to total biomass stations SM01, SM02, SM03 and SM04, and the functional group D stations SM05 and SM06. Cluster analysis of the functional groups biomass grouped the stations SM01, SM02, SM03 and SM04, SM06 was the station nearest to the group while SM05 showed the greatest distance. The canonical correspondence analysis separated stations SM05 and SM06 and related them to the functional group D and total nitrogen, electrical conductivity, total suspended

solids, orthophosphate and trophic state index. Thus, the functional groups proved to be an excellent tool for biomonitoring of São Mateus river, the detection of impacts, the disruption of river continuity and evidence of loss of water quality.

Keywords: phytoplankton functional group; impacts; biomonitoring; discontinuity; trophic

Introdução

O sistema de grupos funcionais é o estudo ecológico de comunidades com base em espécies que possuem as mesmas adaptações para sobrevivência no meio, mesmo não sendo filogeneticamente semelhantes (Webb et al., 2002; Reynolds, 2006; Kruk et al., 2010). A teoria dos grupos funcionais se baseia no conceito de que espécies bem adaptadas funcionalmente respondem melhor às limitações do meio do que espécies menos adaptadas (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009). Além disso, acredita-se que um ambiente com determinadas características abióticas provavelmente será habitado por espécies funcionalmente adaptadas (Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009).

O entendimento dos grupos funcionais permite fazer previsões e extrapolar ocorrência de estruturas do fitoplâncton em ambientes (Salmaso & Padisák, 2007). Mecanismo muito importante para gestores de recursos hídricos que precisam estabelecer metas, prioridades e ações de controle da qualidade da água (Reynolds et al., 2002).

Os grupos funcionais, ou a estrutura da comunidade fitoplanctônica, em lagos e reservatórios são influenciados, principalmente, por disponibilidade de luz, padrões de mistura da coluna d'água, concentração de nutrientes e controle de herbívoros (Reynolds, 1987). Entretanto, o que direciona a estrutura da comunidade fitoplanctônica

em ambientes lóticos são principalmente a hidrologia e a turbidez (Gosselain et al., 1994; Reynolds, 2006). É esperado que os grupos funcionais de rios sejam semelhantes aqueles de lagos que são túrbidos e sofrem intensa mistura (Soares et al., 2007), com dominância de diatomáceas em regiões temperadas e desmídias em regiões tropicais (Rojo et al., 1994).

O sistema de grupos funcionais é largamente aplicado em lagos e reservatórios do Brasil (Fonseca & Bicudo, 2008; Souza et al., 2008; Dantas et al., 2008; Rangel et al., 2009; Barros, 2010; Dantas et al., 2012), no entanto, em rios existem poucos estudos com essa ênfase (Soares et al., 2007).

Configurando como um dos principais mananciais de abastecimento público da região norte do estado do Espírito Santo, o rio São Mateus vem sofrendo impactos antrópicos desde projetos de irrigação, a retirada da mata ciliar, introdução de espécies exóticas até o uso como receptor de efluentes domésticos, hospitalares e industriais (ANA, 2009). Esses impactos podem levar ao rompimento da continuidade do rio, inicialmente proposto por Vannote et al. (1980) no Conceito de Continuidade do Rio. Trabalhos recentes tem demonstrado que não só a construção de reservatórios causam a descontinuidade (Ward & Stanford 1983; Stanford & Ward, 2001), mas também outros tipos de impactos como o lançamento de efluentes domésticos (Brigante & Espindola, 2003; Silva et al., 2010).

O objetivo desse estudo é verificar, através da resposta dos grupos funcionais fitoplanctônicos às variáveis limnológicas, se os grupos funcionais são bons indicadores da qualidade ecológica do rio São Mateus. As hipóteses nas quais se baseiam esta pesquisa são: (a) os grupos funcionais indicarão o estado trófico do rio; (b) a estrutura da comunidade será resultado das características físicas de rios; (c) os grupos funcionais responderão aos diferentes impactos nos trechos estudados; (d) os grupos funcionais

fitoplanctônicos detectarão a descontinuidade do rio São Mateus; (e) os grupos funcionais podem ser utilizados como preditores da qualidade da água.

Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do rio São Mateus possui uma superfície de 13.842 Km² distribuídos nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O rio São Mateus (Figura 3.1), um dos principais afluentes dessa Bacia, é formado pela junção dos Rios Cotaxé (Braço Norte) e Cricaré (Braço Sul) e está inserido em uma região de mata atlântica com clima tropical úmido e índice pluviométrico médio anual de 1300 mm (MMA, 2006; ANA, 2009).

A cidade litorânea de São Mateus, com 109.067 habitantes (IBGE, 2010), está situada às margens do rio São Mateus e, nesse contexto de ocupação do solo e uso da água, encontram-se as estações amostrais estudadas.

2.2. Amostragem e análise das variáveis limnológicas

Seis estações amostrais (Figura 3.1) foram determinadas no rio São Mateus – Espírito Santo/Brasil. Amostras de água foram coletadas na sub-superfície da coluna d'água nas seis estações, em intervalos semanais, para minimizar a influência temporal, durante os meses de setembro e outubro/2010 (dias 08, 15 e 22/09 e 01/10). As estações amostrais estão situadas a montante da cidade de São Mateus, SM01 e SM02, e ao longo da cidade em direção a foz do rio, em sequência, SM03, SM04, SM05 e SM06. Estas duas últimas estações, estão imediatamente a jusante da cidade de São Mateus, com influência de piscicultura intensiva (tanques-rede – SM05) e lançamento de grande volume de efluentes domésticos e industriais (SM06).

Em campo foram aferidas as variáveis profundidade (profundímetro SpeedTech), transparência da água e zona eufótica (disco de Secchi; segundo Cole, 1994), pH (potenciômetro Quimis), temperatura da água, oxigênio dissolvido, salinidade e condutividade elétrica (sonda multiparâmetros YSI 85).

Amostras de água foram coletadas na subsuperfície com frascos de polietileno para posteriores análises em laboratório de turbidez (turbidímetro Plus Microprocessado Alfakit), sólidos totais em suspensão (STS; APHA, 1992) e concentrações dos nutrientes: silicato (SiO_4 ; Golterman et al., 1978), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT; Valderrama, 1981), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^- ; Mackereth et al., 1978), nitrogênio amoniacal (NH_4^+ ; Koroleff, 1976) e ortofosfato (PO_4 ; Strickland & Parsons, 1960).

As amostras para análise qualitativa foram coletadas através de arrastos horizontais sucessivos com rede de $20\mu\text{m}$ de abertura de malha e fixadas com solução de formalina a 4%, enquanto as amostras quantitativas foram coletadas diretamente com o frasco e fixadas com solução de lugol acético 5%.

O índice de estado trófico de Carlson adaptado por Toledo et al. (1983) para regiões tropicais foi utilizado para a caracterização trófica das estações amostrais. O cálculo foi realizado com base nos valores do disco de secchi, fósforo total e ortofosfato. Os estados tróficos considerados foram: ultra-oligotrófico (≤ 24), oligotrófico (24-44), mesotrófico (44-54), eutrófico (54-74) e hipertrófico (≥ 74) (Toledo, 1990). Além disso, foi verificado também o nível trófico das estações pela equivalência dos valores de fósforo total, proposto por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos.

2.3. Análise da comunidade

A análise qualitativa foi efetuada por meio de registro ilustrativo e fotográfico das algas obtidas em lâminas temporárias, observadas ao microscópio óptico Olympus BX

41 equipado com ocular de medição e câmara clara. A identificação dos táxons foi baseada nas características morfológicas das células, nas medidas celulares (sempre com análise populacional) até o menor nível taxonômico possível, com auxílio de bibliografia específica (Hustedt, 1930; Bourrelly, 1966, 1968, 1970; Round, 1971; Germain, 1981; Komárek & Fott, 1983; Krammer & Lange-Bertalot, 1986; Simonsen, 1987; Komárek & Anagnostidis, 1988, 1989, 1990, 1999; Van Den Hoek, 1995; Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998; Bigunas, 2005; Wetzel, 2011).

A análise quantitativa foi realizada utilizando-se amostras em câmaras de sedimentação (Utermöhl, 1958) e as algas contadas em campos aleatórios (Uhelinger, 1964), em microscópio invertido Nikon Eclipse TS 100.

Foram contados até 400 indivíduos da espécie mais abundante, garantindo erro de $\pm 10\%$ para um intervalo de confiança de 95% (Lund et al., 1958) e os cálculos de densidade foram feitos conforme Weber (1973).

O biovolume específico foi obtido associando a morfologia da alga com formas geométricas (Hillebrand et al., 1999; Sun & Liu, 2003) e multiplicando-se o volume médio obtido de cada espécie pela densidade da população. Foram consideradas todas as espécies que apareceram na análise quantitativa, para as quais foram medidos 20 indivíduos, com exceção daquelas raras.

Os grupos funcionais foram definidos, conforme Reynolds et al. (2002) e Padisák et al. (2009), para as espécies que contribuíram com pelo menos 5% da biomassa total em pelo menos uma amostra, consideradas espécies descritoras.

2.4. Análise dos dados

As coletas semanais foram consideradas como réplicas ($n = 4$) para a abordagem de variação espacial. A normalidade dos dados foi testada através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Uma vez que os dados obtidos não apresentaram a normalidade e

homocedasticidade, as diferenças nos parâmetros abióticos e bióticos entre as estações amostrais foram verificadas pelo teste de Kruskal-Wallis através do software Assistat 7.6 beta (Silva & Azevedo, 2006). Esse programa ao fazer o teste compara as médias das variáveis e atribui letras, os valores com ao menos uma letra igual são estatisticamente iguais entre si. Além disso, o maior valor se inicia com a letra *a* e seguem a sequência do alfabeto os valores seguintes.

Para verificar uma relação entre as estações amostrais e as variáveis limnológicas que apresentaram diferença significativa entre as estações no teste de Kruskal-Wallis, foi feita uma Análise de Componentes Principais (ACP). Os eixos utilizados para a interpretação do resultado da ACP foram aqueles que apresentaram autovalores maiores que o Broken-Stick (Jackson, 1993).

A similaridade florística entre as estações amostrais foi medida através da análise de agrupamento, utilizando-se os valores de biomassa dos grupos funcionais e considerando-se a distância Euclidiana e o método de ligação Ward.

As relações entre os grupos funcionais e as variáveis limnológicas foram avaliadas através de correlações de Spearman. Foi utilizado o software Past versão 1.9 (Hammer et al., 2001). Além disso, para verificar relações entre as estações amostrais, as variáveis abióticas e grupos funcionais, foi feita uma Análise de Correspondência Canônica (ACC), com significância pelo teste de Monte Carlo ($p = 0,05$), com 999 aleatorizações. Os dados foram transformados previamente ($\text{Log}(x+1)$) e o programa utilizado foi PCORD versão 5 (McCune & Mefford, 2006). As variáveis abióticas utilizadas foram aquelas que apresentaram valores elevados na correlação de Spearman e diferença significativa entre as estações amostrais no teste de Kruskal-Wallis.

Resultados

As variáveis limnológicas (turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão e nutrientes, com exceção de nitrato e silicato) do rio São Mateus apresentaram elevados valores nas estações amostrais a jusante da cidade, SM05 e SM06 (Tabela 3.1). As estações SM01, SM02, SM03 e SM04 apresentaram maiores valores apenas de transparência e zona eufótica. As demais variáveis não apresentaram diferença significativa entre as estações amostrais (Tabela 3.1).

O índice de estado trófico e a concentração de fósforo total indicam um aumento no gradiente trófico de oligotrófico (estações SM01, SM02, SM03 e SM04) a mesotrófico (estações SM05 e SM06) (Tabela 3.2).

A análise de componentes principais das variáveis limnológicas e índice de estado trófico (IET) separou as estações SM05 e SM06 das demais (eixo 1), relacionando-as com maiores teores de nutrientes (nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, fósforo total e ortofosfato) e sólidos totais em suspensão e maiores valores de IET, condutividade elétrica e turbidez (Figura 3.2). O eixo 1 representou 93% da variação total e o eixo 2, 5%.

Foram identificadas 227 espécies nas estações amostrais do rio São Mateus distribuídas em nove classes (Mamão et al., em preparação). Dessas espécies, nove foram consideradas descritoras e agrupadas em nove grupos funcionais (GF). Na Tabela 3.4 pode-se verificar os taxa que foram descritores em cada estação amostral, com destaque para a contribuição relativa de cada um para a biomassa total. Apesar da variação na presença e contribuição dos GF nas estações (Tabela 3.4), somente o GF X2, representado por *Cryptomonas* sp. apresentou diferença significativa ($p < 0.05$) nos valores de biomassa entre as estações, sendo que na estação SM06 registramos maior valor.

O GF L_O, da espécie *Synechocystis aquatilis* Sauvageau, foi registrado em todas as estações (Tabela 3.4), já a espécie *Polymyxus coronalis* Bailey, incluída no GF D, foi encontrada apenas nas estações amostrais SM05 e SM06.

Os maiores valores de biomassa ($p < 0.05$) foram registrados nos ambientes mesotróficos, SM05 e SM06, ($1.474.345$ e $697.143 \mu\text{m}^3 \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente) (Figura 3.3a). Os valores de biomassa das estações amostrais oligotróficas não se diferenciaram estatisticamente entre si e se distinguiram das estações mesotróficas. O GF D foi o que mais contribuiu para a elevada biomassa nas estações amostrais mesotróficas, já nas estações oligotróficas o GF L_O foi o que mais contribuiu para a biomassa total (Figura 3.3b).

A análise de agrupamento dos GF (Figura 3.4) separou as estações amostrais em três grupos, um formado pelas estações SM01, SM02, SM03 e SM04, outro formado pela estação SM06, que possui maior proximidade com o primeiro grupo, e por fim um terceiro formado pela estação SM05, que mais se distanciou das outras estações.

A correlação de Spearman (Tabela 3.5) demonstrou que o GF X₂ relacionou-se mais fortemente com ortofosfato ($r = 0,94$) e IET ($r = 0,88$). Já o grupo funcional T_D com fósforo total, o L_O com condutividade elétrica e nitrogênio total e o GF W₂ com sólidos totais em suspensão.

Na análise de correspondência canônica (Figura 3.5) o eixo 2 separou no seu lado negativo as estações SM05 e SM06, relacionando-as com o GF D e com as variáveis nitrogênio total, condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão, ortofosfato e o índice de estado trófico. A estação SM02 encontrou-se próxima a estação SM05 e relacionando-se com o GF W₂. No lado positivo do eixo, as estações SM03 e SM04 estiveram mais relacionadas com os GF C e T_D e a estação SM01 com X₁ e Y. O eixo 1

da análise de correspondência canônica explicou 51.7% da variabilidade dos dados e o eixo 2, 26.3% (Figura 3.5).

Discussão

Os impactos antrópicos das estações SM05 e SM06, tais como sistema de tanques-rede de piscicultura e lançamento de efluente doméstico e industrial, contribuíram para o aumento da trofia e a perda da qualidade da água do rio São Mateus, evidenciados pelos altos valores de turbidez, sólidos totais em suspensão e concentração de nutrientes. O efluente de origem doméstica e industrial é uma das principais causas da entrada de nutrientes nos rios (Owens & Walling, 2002; Bowes et al., 2003). Além disso, a piscicultura também contribui, já que a criação de peixes, principalmente o uso da ração, aumenta a concentração de nutrientes e material particulado em rios (Castro, 2003; Sipaúba-Tavares et al., 2010₁ e 2010₂), e assim esse enriquecimento proporciona um aumento nos valores de sólidos totais em suspensão, turbidez e condutividade elétrica.

Apesar de ser tipicamente marinha, *Polymyxus coronalis*, foi encontrada nas estações amostrais SM05 e SM06 do rio São Mateus onde não há diferença na salinidade quando comparada com as outras estações (Tabela 3.1). Dessa forma, achou-se conveniente considerar sua ocorrência em água doce e propor sua inclusão no grupo funcional D, devido a presença nesse grupo de uma Bacillariophyceae (*Actinocyclus normannii* Gregory) da mesma ordem, Coscinodiscales, e devido ao tipo de habitat que as espécies do grupo ocorrem. Além disso, corroborando com a ocorrência e/ou predominância de *Polymyxus coronalis* em ambientes túrbidos tem-se estudos que registram essa espécie nos rios amazônicos (Ribeiro et al., 2008; Monteiro et al., 2009), onde a turbidez é elevada.

Em lagos os grupos funcionais fitoplanctônicos são extensamente aplicados para a determinação do estado trófico (Reynolds, 1999; 2000; Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009). No entanto, em ambientes lóticos esta relação poderá ocorrer de forma diferente, já que em rios o processo de eutrofização é distinto devido, principalmente, ao curto tempo de retenção e à baixa limitação dos organismos por nutrientes (Hilton et al., 2006). Possivelmente isso explique o fato dos grupos funcionais do rio São Mateus terem apresentado resultados divergentes em relação ao nível trófico das estações quando comparados com o índice de estado trófico. Com isso, os grupos funcionais X2, T_D, T_B e W2 avaliados para o rio São Mateus sugerem condições de mesotrofia, situação essa não observada nas estações onde ocorreram.

Este fato foi mais acentuado quando se analisa o grupo funcional X1, exclusivo da estação SM01, onde se tem uma das menores concentrações de ortofosfato e fósforo total e elevada transparência, porém esse grupo indica condições eutróficas de lagos (Reynolds et al., 2002). Dos quatro grupos funcionais citados anteriormente, talvez o X2 seja o mais sensível às condições tróficas, isso porque foi o único que apresentou diferença significativa quanto à biomassa entre as estações, com elevados valores em SM06. Além disso, a análise de Spearman mostra alta correlação deste grupo funcional com ortofosfato e índice de estado trófico.

Apesar dos grupos funcionais avaliados para o rio São Mateus indicarem nível trófico diferente daqueles propostos pela literatura, esses grupos funcionais foram bons descritores da composição fitoplanctônica do rio São Mateus. Características como turbidez, característica hidráulica dos ambientes lóticos (turbulência), e afinidade com alta concentração de nutrientes foram as principais forças direcionando a ocorrência dos grupos funcionais do rio São Mateus. Isso porque o fitoplâncton de rios é fortemente influenciado por fatores físicos como intensidade do fluxo e luminosidade (Tundisi &

Matsumura-Tundisi, 2008; Devercelli, 2010). Dessa forma, os grupos funcionais fitoplanctônicos possuem adaptações morfológicas que lhes permitem sobreviver nesse ambiente. Os grupos funcionais T_B, C e D são formados por diatomáceas que ocorrem em rios. Entre as adaptações dos componentes desse grupo de algas esta a presença de pigmentos acessórios, como caroteno e fucoxantina, que lhes permitem captar luz em vários comprimentos de onda (Biggs, 1998), por isso são favorecidos em ambientes com baixa e oscilante penetração de luz (Reynolds, 1997), característica típica de rios. Além disso, representantes desse grupo suportam alta turbulência, devido ao fato de possuírem carapaça de sílica (Biggs, 1998; Stevenson, 1996). Por outro lado, indivíduos com tamanho reduzido e alta taxa de crescimento também são favorecidos em ambientes turbulentos e com alta concentração de nutrientes (Reynolds, 1997), como é o caso dos grupos funcionais X1, X2, Y, L_O no rio São Mateus.

Além de bons descritores da composição fitoplanctônica, os grupos funcionais responderam bem à mudança nas características físicas e químicas das estações amostrais e assim aos diferentes impactos antrópicos. Isso fica evidente pelo grupo funcional D, que foi exclusivo das estações SM05 e SM06, com elevada biomassa. Esse grupo representa um bom indicador da qualidade limnológica, uma vez que ocorre em ambientes túrbidos (Reynolds et al., 2002; Soares et al., 2007; Padisák et al., 2009) e foi essa a condição encontrada nessas estações, onde houve um aumento significativo da turbidez devido a piscicultura intensiva e ao lançamento de grande volume de efluente. O efeito desses impactos e a resposta dos grupos funcionais também ficaram claros pela análise de correspondência canônica, na qual as estações SM05 e SM06 e o grupo D estão relacionados com estado trófico mais elevado e piores condições limnológicas (elevados valores de condutividade elétrica, sólidos totais em suspensão e concentração de nitrogênio).

Pode-se atribuir aos grupos funcionais o papel de preditores no trabalho de biomonitoramento (Reynolds et al., 2002). O grupo funcional L_O, da espécie *Synechocystis aquatilis* Sauvageau, contempla habitat desde oligotrófico até eutrófico (Padisák et al., 2009). Isso pode explicar sua ocorrência em todas as estações amostrais e sua contribuição expressiva para a biomassa total. Esse grupo merece atenção especial devido ao fato de ter sido representado por uma cianobactéria picoplanctônica, com alta taxa de crescimento, sendo r-estrategista (Pianka, 1970), bem adaptados a uma rápida aquisição e baixa perda de nutrientes (Reynolds, 2006). Por isso, podem apresentar vantagens nesse tipo de ambiente e serem beneficiados pelo aumento das condições tróficas, podendo, inclusive, formar florações. Apesar de não ser comum a ocorrência de florações em ambientes lóticos, pode ocorrer com o enriquecimento por nutrientes e diminuição da descarga do rio (Padisák, 1997). Além disso, o gênero *Synechocystis* é potencialmente produtor de toxina (Oudra et al., 2002). Por esses motivos é um grupo que merece ser monitorado.

O processo de eutrofização pode contribuir com o aumento da biomassa de algas, induzindo a uma intensificação na entrada de nutrientes em sistemas e lóticos e assim passar a ser um problema de saúde pública devido a perda da qualidade da água (Cooper et al., 2002; Garnier et al., 2005; Hilton et al., 2006). Esse processo pode estar acontecendo nas estações SM05 e SM06 já que houve um aumento significativo da biomassa fitoplanctônica nesses ambientes. Por isso, devem ser as regiões priorizadas em um possível plano de gerenciamento deste ecossistema.

A dissimilaridade das estações SM05 e SM06 com relação às variáveis abióticas, biomassa total, ocorrência e contribuição relativa de grupos funcionais ficou evidente (ACP, análise de agrupamento e ACC). Por isso conclui-se que há um rompimento do gradiente longitudinal do rio São Mateus nas estações a jusante da cidade (SM05 e

SM06), quando comparadas as demais estações, devido, principalmente, aos impactos causados pelo sistema de piscicultura e lançamento de efluentes, ocasionando na descontinuidade do rio.

Dessa forma, pode-se perceber que os grupos funcionais responderam às variáveis limnológicas, demonstrando ser uma excelente ferramenta para o biomonitoramento não somente de lagos, mas também de rios, além da capacidade de detecção de impactos e rompimento da continuidade original do rio. Ainda, os grupos funcionais fitoplanctônicos podem ser utilizados para detectar a perda da qualidade da água.

Agradecimento

À Cristiane Freitas de Azevedo Barros por me ajudar a desvendar os grupos funcionais.

Tabela 3.1: Média e Erro padrão das variáveis limnológicas do rio São Mateus no período amostrado. As letras e o *p*-valor são dados pelo programa Assistat no teste Kruskal-Wallis, mostrando a proximidade das estações amostrais.

Variáveis	Média (EP)						<i>P</i> - valor
limnológicas	SM01	SM02	SM03	SM04	SM05	SM06	
Prof (m)	4,32 ^b (1,07)	3 ^e (0)	3,55 ^c (0,05)	3,3 ^d (0,47)	3,45 ^d (0,64)	8,2 ^a (0,90)	*
pH	7,32 ^a (0,09)	7,3 ^a (0,14)	7,3 ^a (0,21)	7,22 ^a (0,18)	7,25 ^a (0,12)	7,32 ^a (0,12)	ns
Transp (m)	0,7 ^b (0,23)	0,72 ^{ab} (0,20)	0,72 ^a (0,20)	0,66 ^b (0,13)	0,3 ^c (0,16)	0,22 ^d (0,08)	*
ZE (m)	2,1 ^b (0,70)	2,17 ^{ab} (0,61)	2,17 ^a (0,60)	1,98 ^b (0,39)	0,9 ^c (0,50)	0,67 ^d (0,25)	*
Turb (NTU)	12,86 ^b (7,89)	10,58 ^{bc} (4,03)	9,47 ^{bc} (3,36)	9,64 ^c (4,17)	36,33 ^a (9,78)	37,99 ^a (9,36)	*
STS (mg.L⁻¹)	3,2 ^{de} (2,08)	5,77 ^c (4,01)	2,67 ^e (2,61)	3,92 ^{cd} (1,79)	19,5 ^a (6,78)	14,17 ^b (11,88)	*
CE (μS.cm⁻¹)	210 ^c (6,05)	210,42 ^c (5,37)	213 ^c (10,94)	213,1 ^c (11,01)	309,57 ^a (75,63)	259,02 ^b (32,26)	*
Sali	0,1 ^a (0)	0,1 ^a (0)	0,1 ^a (0)	0,1 ^a (0)	0,125 ^a (0,05)	0,1 ^a (0)	ns
OD (mg.L⁻¹)	4,93 ^a (0,61)	4,85 ^a (0,59)	4,74 ^a (0,58)	4,87 ^a (0,47)	3,89 ^a (0,50)	4,86 ^a (0,67)	ns
Temp (°C)	25,55 ^a (2,05)	25,7 ^a (1,82)	25,7 ^a (1,56)	25,72 ^a (1,63)	26,3 ^a (1,29)	26,2 ^a (1,04)	ns
SiO₄ (mg.L⁻¹)	7,74 ^a (0,13)	7,61 ^a (0,31)	7,61 ^a (0,43)	7,24 ^a (0,80)	7,57 ^a (0,22)	7,20 ^a (1,14)	ns
PO₄³⁻ (mg.L⁻¹)	0,016 ^c (0)	0,011 ^e (0)	0,014 ^d (0)	0,014 ^{cd} (0)	0,044 ^b (0,04)	0,067 ^a (0,07)	*
PT (mg.L⁻¹)	0,033 ^{bc} (0)	0,029 ^{cd} (0)	0,034 ^b (0,01)	0,028 ^d (0)	0,066 ^a (0,01)	0,113 ^a (0,09)	*
NO₂⁻ (mg.L⁻¹)	0,001 ^{bc} (0)	0,002 ^c (0)	0,001 ^c (0)	0,002 ^b (0)	0,010 ^a (0)	0,012 ^a (0)	*
NO₃⁻ (mg.L⁻¹)	0,095 ^a (0,03)	0,108 ^a (0,03)	0,126 ^a (0,04)	0,150 ^a (0,05)	0,158 ^a (0,02)	0,126 ^a (0,01)	ns
NH₄⁺ (mg.L⁻¹)	0,01025 ^{cd} (0)	0,01450 ^{bc} (0)	0,00925 ^d (0)	0,01600 ^b (0)	0,28800 ^a (0,04)	0,32875 ^a (0,08)	*

NT	0,45225 ^d	0,51875 ^c	0,53800 ^c	0,60750 ^b	0,89375 ^a	0,86625 ^a	*
(mg.L ⁻¹)	(0,02)	(0,08)	(0,06)	(0,11)	(0,10)	(0,14)	

Prof = Profundidade; Transp = Transparência; ZE = Zona eufótica; Turb = Turbidez; STS = Sólidos totais em suspensão; CE = Condutividade elétrica; Sali = Salinidade; OD = Oxigênio dissolvido; Temp = Temperatura da água; SiO₄ = Silicato; PO₄³⁻ = Ortofosfato; PT = Fósforo total; NO₂⁻ = Nitrito; NO₃⁻ = Nitrato; NH₄⁺ = Nitrogênio amoniacal; NT = Nitrogênio total; * = $p < 0.05$; ns = não significativo.

Tabela 3.2: Índice de estado trófico, nível trófico, concentração de fósforo total e equivalência trófica do rio São Mateus (setembro e outubro de 2010).

Estações	Índice de	Nível Trófico	Fósforo	Equivalência de Nível
Amostrais	Estado	(Fonte: Toledo,	Total	Trófico segundo o Fósforo
	Trófico	1990)	(mg.L ⁻¹)	Total (Fonte: Lamparelli,
	(IET)			2004)
SM01	37,53239	Oligotrófico	0,033196	Oligotrófico
SM02	35,48507	Oligotrófico	0,029689	Oligotrófico
SM03	37,03532	Oligotrófico	0,03468	Oligotrófico
SM04	36,50485	Oligotrófico	0,028205	Oligotrófico
SM05	46,1949	Mesotrófico	0,066517	Mesotrófico
SM06	50,70232	Mesotrófico	0,113597	Mesotrófico

Tabela 3.3: Coeficientes de correlação dos eixos 1 e 2 obtidos através da ACP.

Parâmetro	Coeficiente de Correlação	
	Eixo 1	Eixo 2
Zona Eufótica	0,9972	0,0511
Turbidez	-0,9843	0,0310
Sólidos totais em suspensão	-0,9384	0,2728
Condutividade elétrica	-0,9012	0,4064
Nitrogênio amoniacal	-0,9998	-0,0111
Nitrogênio total	-0,9533	0,1669
Ortofosfato	-0,9698	-0,2628
Fósforo total	-0,9304	-0,3608

Nitrito	-0,9973	-0,0325
Índice de estado trófico	-0,9821	-0,1716
Autovalores	9,33	0,49
Broken-stick	2,92	1,92

Tabela 3.4: Espécies fitoplanctônicas descritoras (>5% da biomassa total), classes taxonômicas, grupo funcional correspondente e contribuição para a biomassa total, rio São Mateus, analisados em setembro e outubro de 2010. ?=proposição de inclusão de espécie.

Espécies	Classe	GF	Abundância relativa (%)					
			SM01	SM02	SM03	SM04	SM05	SM06
<i>Chlorella vulgaris</i> Beij	Chlorophyceae	X1	10,74					
<i>Ciclotella meneghiniana</i> Kutzing	Bacillariophyceae	C			24,16	18,03		9,66
<i>Cryptomonas</i> sp.	Cryptophyceae	X2	14,77		8,78	10,95		10,54
<i>Gymnodinium</i> sp.	Dinophyceae	Y	13,31					
<i>Navicula lundii</i> Reichardt	Bacillariophyceae	T _B			7,76			
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauvageau	Cyanophyceae	L _O	41,67	58,06	40,05	38,08	6,27	11,57
<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg	Euglenophyceae	W2		21,12		9,46		
<i>Uronema</i> sp.	Chlorophyceae	T _D			10,29			
<i>Polymyxus coronalis</i> Bailey	Bacillariophyceae	D?					80,14	57,12

Tabela 3.5: Correlação de Spearman entre as variáveis abióticas, grupos funcionais e biomassa do rio São Mateus. Os dados apresentados são os que possuem correlação significativa ($p < 0,05$).

	X2	L_o	W2	T_D
Profundidade	0,82857			
Transparência				
Zona eufótica				
Turbidez				
Sólidos totais em suspensão			0,97101	
pH				
Condutividade elétrica		0,94286		
Salinidade				
Oxigênio dissolvido				
Temperatura da água		0,89865		
Nitrogênio amoniacal				
Nitrogênio total		0,94286		
Silicato				
Ortofosfato	0,94286			
Fósforo total				0,88041
Nitrito			0,88273	
Nitrato		0,82857		
Índice de estado trófico	0,88571			

Tabela 3.6: Coeficientes de correlação das variáveis abióticas e grupos funcionais do rio São Mateus sobre os dois primeiros eixos da ACC.

Variáveis abióticas	Coeficiente Canônico		Correlação Intra-set	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
STS (Sólidos Totais em Suspensão)	-5,919	-2,039	-0,443	-0,734
CE (Condutividade Elétrica)	44,428	-10,235	-0,419	-0,577
NT (Nitrogênio Total)	-75,511	24,762	-0,610	-0,540
PO₄³⁺ (Ortofosfato)	459,270	-211,016	-0,377	-0,475
IET (Índice de Estado Trófico)	-86,869	62,547	-0,350	-0,260
Variáveis Bióticas	Coeficiente Canônico			
	Eixo 1	Eixo 2		
X1	2,907	0,048		
Y	0,299	-0,048		
X2	0,113	-0,020		
L_O	0,112	-0,022		
W2	-0,411	-0,764		
C	-0,490	0,733		
T_B	-0,528	2,828		
T_D	-0,567	0,245		
D	-0,585	-0,959		

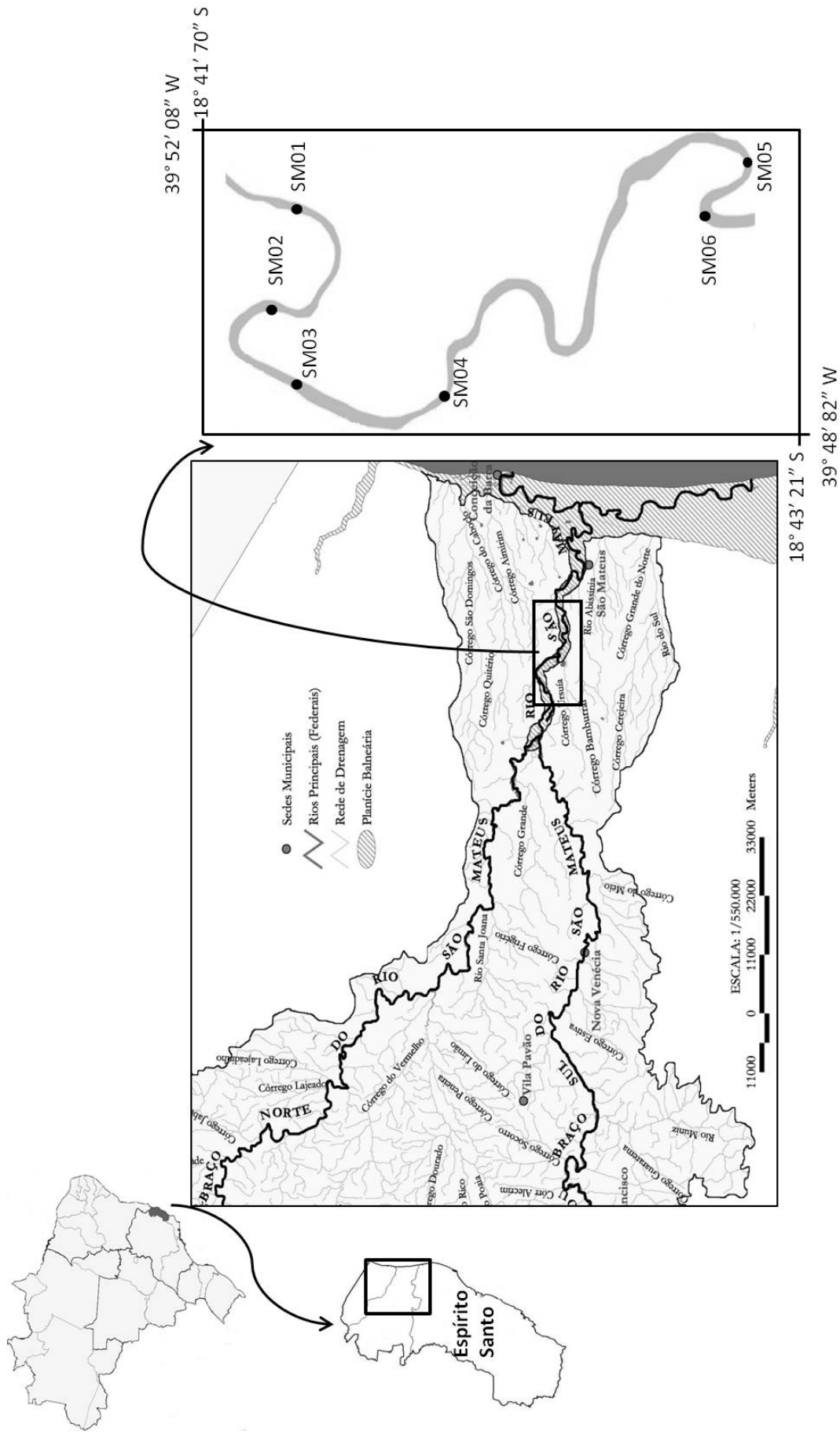


Figura 3.1: Bacia do Rio São Mateus localizada em parte no Estado do Espírito Santo/Brasil. Em destaque o rio São Mateus e as estações amostrais.

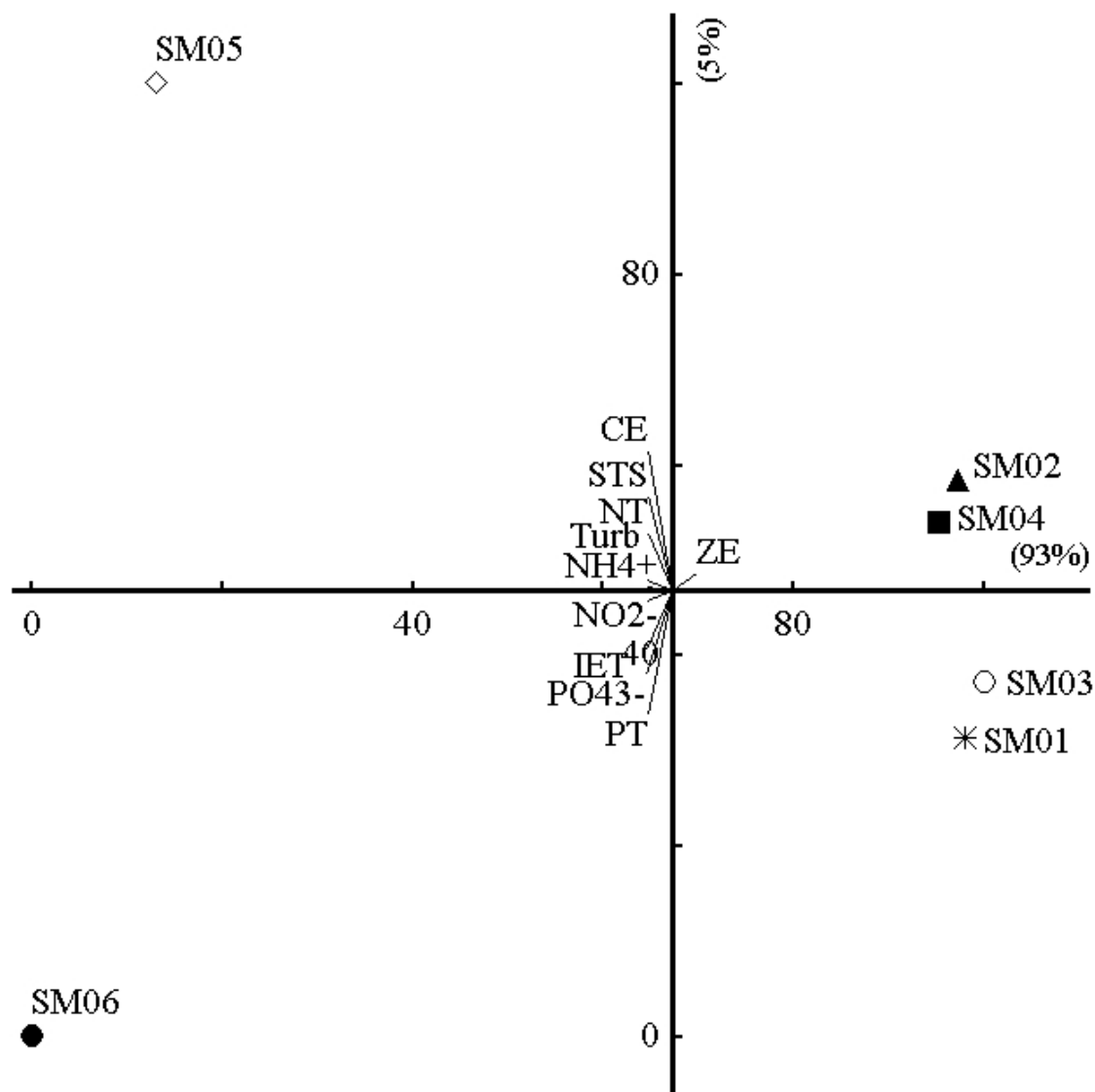


Figura 3.2: Diagrama de ordenação obtido através da Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis limnológicas e índice de estado trófico das seis estações amostrais do rio São Mateus, analisado em setembro e outubro/2010. Variáveis descritoras: Zona eufótica (ZE); Fósforo total (PT); Ortofosfato (PO_4^{3-}), Nitrogênio amoniacal (NH_4^+); Nitrito (NO_2^-); Turbidez (Turb); Nitrogênio total (NT); Sólidos totais em suspensão (STS); Condutividade elétrica (CE).

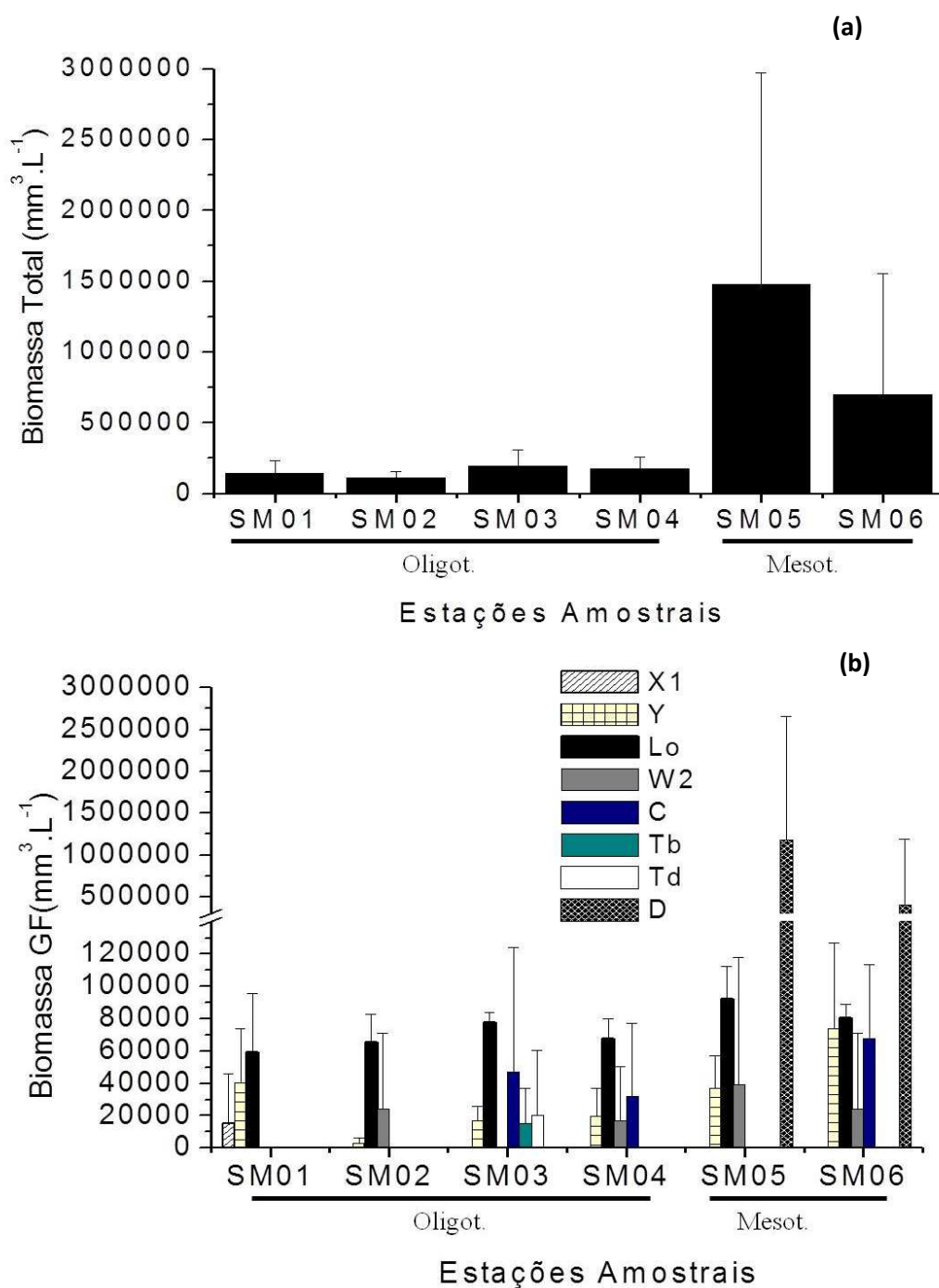


Figura 3.3: Média e erro padrão da biomassa total e dos grupos funcionais das espécies descritoras (>5% da biomassa total) das estações amostrais com diferentes níveis tróficos. GF = grupo funcional; Oligot = Oligotrófico; Mesot = Mesotrófico.



Figura 3.4: Análise de agrupamento das estações amostrais do rio São Mateus, considerando a biomassa dos grupos funcionais das espécies descritoras (>5% da biomassa total) durante o período estudado.

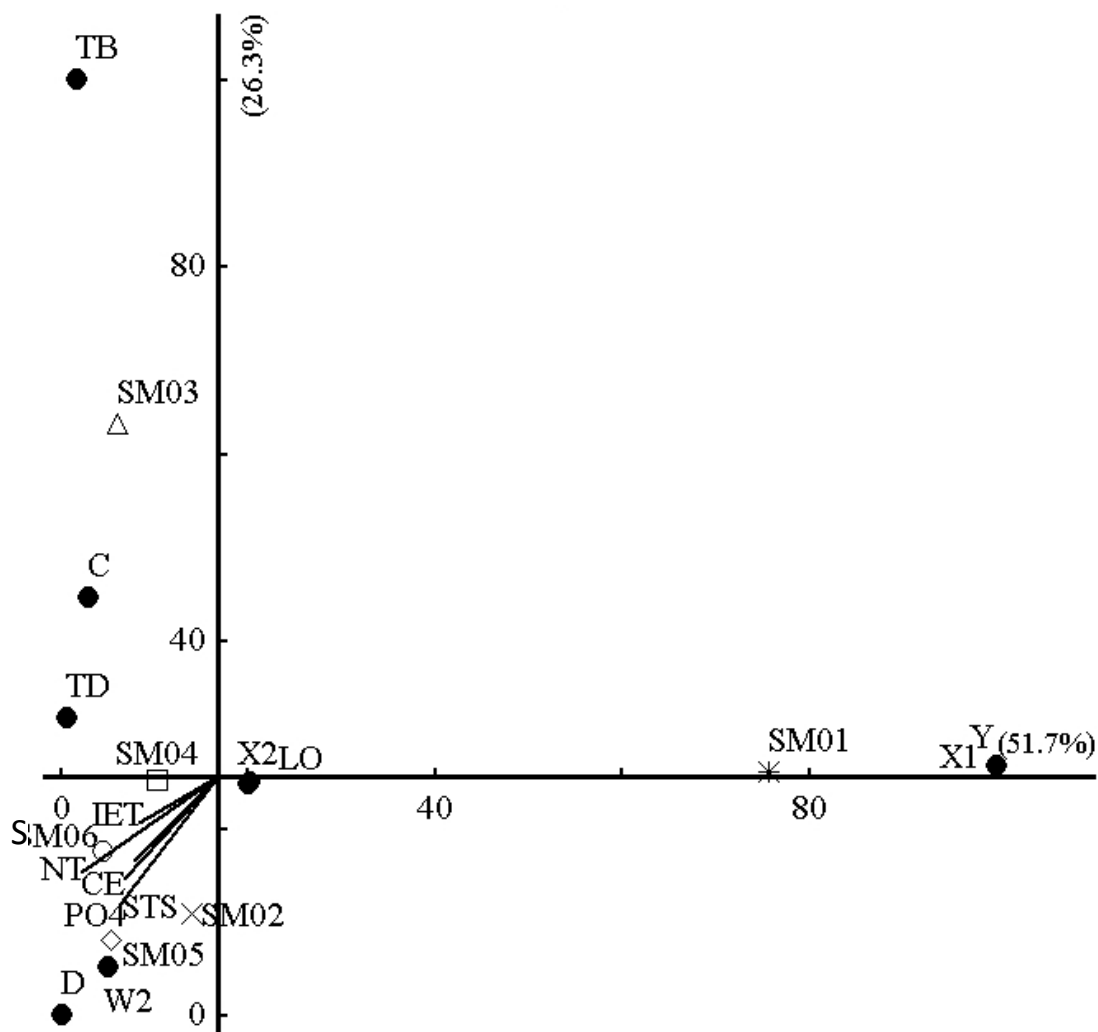


Figura 3.5: Ordenação pela Análise de Correspondência Canônica (ACC) das variáveis abióticas e grupos funcionais para as seis estações amostrais do rio São Mateus em setembro e outubro/2010. Variáveis descritoras: Índice de Estado Trófico (IET); Ortofosfato (PO_4^{3+}), Nitrogênio Total (NT); Sólidos totais em suspensão (STS); Condutividade Elétrica (CE); grupos funcionais X1, Y, Lo, C, Td, Tb, W2, D.

CONCLUSÕES GERAIS

- O rio São Mateus possui características limnológicas e biológicas típicas de ambientes impactados, com elevadas concentrações de nutrientes, sólidos totais em suspensão, turbidez, condutividade elétrica e biomassa fitoplanctônica, além de dominância de espécies;
- As variáveis físico-químicas, a estrutura da comunidade fitoplanctônica e os grupos funcionais responderam aos diferentes impactos do rio São Mateus e demonstraram claramente o rompimento do seu gradiente longitudinal;
- Os grupos funcionais devem ser mais aplicados em sistemas lóticos, assim com já acontece em sistemas lênticos, devido a sua eficiente resposta às mudanças nas variáveis limnológicas de rios;
- Os impactos antrópicos que mais interferiram na dinâmica do ecossistema fluvial foram a piscicultura intensiva (tanque-rede) e o lançamento de efluentes domésticos e industriais;
- As análises abióticas e bióticas demonstraram que o rio São Mateus é um sistema lótico descontínuo devido às interferências antrópicas a que está sujeito;
- Tendo em vista a atual perda da qualidade da água do rio São Mateus e o potencial da dominante alga *Synechocystis aquatilis* (potencial capacidade de reprodução e de produção de toxina), políticas de recuperação e monitoramento do rio devem ser tomadas. Isso para que se evite a deteriorização da qualidade da água a um ponto em que se inviabilize o uso da água para abastecimento. Dessa forma, a comunidade fitoplanctônica e/ou os grupos funcionais seriam ótimas ferramentas para esse biomonitoramento já que se demonstraram excelentes sensores.

- Na escolha de regiões prioritárias para o biomonitoramento, os tanques-rede devem receber atenção especial uma vez que apresentou umas das piores condições limnológicas e porque a deteriorização da qualidade da água pode levar a mortandade de peixes e prejuízo as famílias que dependem desse sustento.
- Por fim, estudos que abranjam toda a bacia hidrográfica, assim como trechos impactados e não impactados dos rios, são importantes para ajudar a entender o funcionamento do gradiente longitudinal do sistema e para desenvolver políticas de manejo do rio.

REFERÊNCIAS

ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. **Stream Ecology: Structure and Functioning of Running Waters**. 2º ed. Dordrecht: Springer, 2007, 444 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Bacias hidrográficas do Atlântico Sul – trecho leste**. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – CD nº 4. 2009. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/doc/BHASLeste/index.htm>.

APHA – American Publication Health Association. Greenberg, A. E.; Clesceri, L. S.; Eaton, A. D. (Eds.). **Standars methods for the examination of water and wastewater**. 18º.ed. USA: Washington D. C., 1992.

BARBOSA, D. S. **Limnologia do Rio Uberaba (MG) e a utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores das modificações ambientais**. 2003. 180f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

BARROS, C. F. A. **Diversidade e ecologia do fitoplâncton em 18 lagoas naturais do médio Rio Doce**. 2010. 128f. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) - Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

BICUDO C. E. M., FERRAGUT, C.; MASSAGARDI; M. R. Cryptophyceae population dynamics in an oligo-mesotrophic reservoir (Ninféias pond) in São Paulo, southeast Brazil. **Hoehnea**, v. 36; n. 1, p. 99-111, 2009.

BIGGS, B. J. F., STEVENSON, R. J. A.; LOWE, R. L. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. **Archiv für Hydrobiologie**, v. 143, p. 21–56, 1998.

BIGUNAS, P. I. T. **Diatomáceas (Ochrophyta) Do Rio Guaraguaçu, Litoral Do Paraná, Brasil**. 2005. 473f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Botânica, Universidade Federal do Paraná, 2005.

BOURRELY, P. **Lês algues d'aeu douce – Indication à la Systématique. Tome I: Les algues vertes.** Paris: N. Boubée, 1966. 572p.

BOURRELY, P. **Lês algues d'aeu douce – Indication à la Systématique. Tome II: Les algues jaunes et brunes Crysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées.** Paris: N. Boubée, 1986. 517p.

BOURRELY, P. **Lês algues d'aeu douce – Indication à la Systématique. Tome III: Les algues blues et rouges Les Euglénien, Peridiniens et Cryptomonadines.** Paris: N. Boubée, 1970. 606p.

BOWES, M. J.; HOUSE, W. A.; HODGKINSON, R. A. Phosphorus dynamics along a river continuum. **The Science of the Total Environment.** v. 313, p. 199–212, 2003.

BRIGANTE, J.; Espíndola, E. L. G. **Limnologia Fluvial: Mogi-Guaçu.** São Carlos: RiMa, 2003. p. 1-13.

CÂMARA, F. R. A., LIMA, A. K. A.; ROCHA, O.; CHELLAPPA, N. The role of nutrient dynamics on the phytoplankton biomass (chlorophyll-a) of a reservoir-channel continuum in a semi-arid tropical region. **Acta Limnologica Brasiliensia.** v. 21, nº4, p. 431-439, 2009.

CAMARGO, A. F. M.; FERREIRA, R. A. R.; SCHIAVETTI, A.; BINI, L. M. Influence of physiography and human activity on limnological characteristics of lotic ecosystems of the south coast of São Paulo, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia.** v. 8, p. 241-243, 1996.

CASTRO, J. J.; SANTOS, J. G. D.; FARIAS, K. F.; HACON, R. A.; SMERMANN, W. Avaliação do impacto ambiental causado por efluentes de viveiros da estação de piscicultura de alta floresta – Mato Grosso. **Revista do programa de ciências agro-ambientais.** v. 2, n. 1, p. 13-31, 2003.

CHELLAPPA, N. T.; CÂMARA, F. A. R.; ROCHA, O. Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir and Pataxo Channel, Rio Grande do Norte State, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. v. 69, n. 2, p. 631-637, 2009.

COLE, G. **Textbook of Limnology**. Saint Louis: The C. V. Mosby, 1994. 283p.

CONNELL, J. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. **Science**. v. 199, p. 1304– 310, 1978.

COOPER, D. M.; HOUSE, W.A.; MAY, L.; GANNON, B. The phosphorus budget of the Thame catchment, Oxfordshire, UK: 1. Mass balance. **The Science of the Total Environment**. v. 282_283, p. 233-251, 2002.

DANTAS, E. W.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOURA, A. N. Dynamics of phytoplankton associations in three reservoirs in northeastern Brazil assessed using Reynolds' theory. **Limnologica – Ecology and Management of Inland Waters**. v. 42, p.72-80, 2012.

DANTAS, E. W.; MOURA, A. N.; BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. **Acta bot. bras.** v. 22, n. 4, p. 970-982, 2008.

DESCY, J.; GOSSELAIN, V. Development and ecological importance of phytoplankton in a large lowland river (River Meuse, Belgium). **Hydrobiologia**. v. 289, n. 1-3, p. 139-155, 1994.

DEVERCELLI, M. Changes in phytoplankton morpho-functional groups induced by extreme hydroclimatic events in the Middle Parana' River (Argentina). **Hydrobiologia**. v. 639, p. 5–19, 2010.

DUDGEON, D. **Tropical Stream Ecology**. 1° ed. China: Elsevier, 2008. 370 p.

ELOSEGI, A.; SABATER, S. **Conceptos y técnicas en ecología fluvial**. Fundación BBVA, 2009. 471 p.

ENSIGN, S. H.; DOYLE, M. W. Nutrient spiraling in streams and river networks. **Journal of geophysical research**, v. 111, p. 1-13, 2006.

ESTEVEZ, F. A. (Org.) 3º Ed. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 790p.

FONSECA, B. M.; BICUDO, C. E. M. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garças Pond, Brazil). **Hydrobiologia**. v. 600, p. 267–282, 2008.

FREIRE, R. H. F.; CALIJURI, M. C.; SANTAELLA, S. T. Longitudinal patterns and variations in water quality in a reservoir in the semiarid region of NE Brazil: responses to hydrological and climatic changes. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 21, n. 2, p. 251-262, 2009.

FRISSELL, C. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E.; HURLEY, M. D. A hierarchical Framework for stream habitat Classification: Viewing streams in watershed context. **Environment Management**. v. 10, n. 2, p. 199-214, 1986.

GARNIER, J.; NE'MERY, J.; BILLEN, G.; THE'RY, S. Nutrient dynamics and control of eutrophication in the Marne River system: modelling the role of exchangeable phosphorus. **Journal of Hydrology**. v., n. 304, p. 397–412, 2005.

GERMAIN, H. **Flore des diatomées**. Paris: Société Nouvelle des Éditions Boubée, 1981. 444 p.

GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for chemical analysis of freshwater**. 2º ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. 213 p.

GOSSELAIN, V.; DESCY, J.P.; EVERBERCQ, E. The phytoplankton community of the River Meuse, Belgium: seasonal dynamics (year 1992) and the possible incidence of zooplankton grazing. **Hydrobiologia**. v. 289, p. 1–7, 1994.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**. v. 4, p. 1–9, 2001.

HILLEBRAND, H.; DÜRSELEN, C.; KIRSCHTEL, D.; POLLINGER, U.; ZOHARY, T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. **Journal of Phycology**. v. 35, p. 403–424, 1999.

HILTON, J.; O'HARE, M.; BOWES, M. J. J.; JONES, I. How green is my river? A new paradigm of eutrophication in rivers. **Science of the Total Environment**. v. 365, p. 66–83, 2006.

HOUSER, J. N.; BURDIS, R. M.; BIERMAN, D. W.; SOEKEN-GITTINGER, L. A. Longitudinal trends and discontinuities in nutrients, chlorophyll, and suspended solids in the Upper Mississippi River: implications for transport, processing, and export by large rivers. **Hydrobiologia**. v. 144, p. 651–127, 2010.

HUSTEDT, F. Bacillariophyta (Diatomeae). In: Pascher, A. (Org.). **Die Süßwasser Flora Mitteleuropas**. Koenigstein: Koeltz Science Publisher, 1930. vol. 10, 468 p.

HUSZAR, V. L. M.; CARACO, N. The relationship between phytoplankton composition and physical–chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological–functional descriptors in six temperate lakes. **Freshwater biology**. v. 40, p. 679–696, 1998.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C. L. Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. **Hydrobiologia**. v. 424, p. 67-77, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010: Aglomerados Subnormais**. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm

JACKSON, D. A. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristic and statistical approaches. **Ecology**. v. 74, p. 2204-2214, 1993.

JANSSON, M.; BLOMQUIST, P.; JONSSON, A.; BERGSTRÖM, A. K. Nutrient limitation of bacterioplankton, autotrophic and mixotrophic phytoplankton, and heterotrophic nanoflagellates in Lake Östräsket. **Limnology and Oceanography**. v. 41, p. 1552–1559, 1996.

JOHNSON, B. L.; RICHARDSON, W. B.; NAIMO, T. J. Past, Present and Future Concepts in Lardge River Ecology. **BioScience**. v. 35, n. 3, p. 134-141, 1995.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Chroococcales. In: Ettl, A.; Gerloff, J.; Heynig, H.; Mollenhauer, D. (Eds.) **Süßwasserflora von Mitteleuropa**. Bd. 19. Stuttgart: G. Fischer Verlag,. 1999. 548p.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4 – Nostocales. **Archiv für Hydrobiologie**. v. 56, p. 247-345, 1989.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 5 – Stigonematales. **Archiv für Hydrobiologie**. v. 59, p. 1-73, 1990.

KOMÁREK, J.; FOTT, B. Chlorophyceae – Chlorococcales. In: HUBER-PESTALOZZI, G. **Das phytoplankton des Süßwassers: systematik und biologie**. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Pt. 7. 1983. 1044 p.

KOMÁREK, J.; K. ANAGNOSTIDIS. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 – Oscillatoriales. **Archiv für Hydrobiologie**. v. 50-53, p. 327-472, 1988.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Org.) Methods of sea water analysis. **Verlag. Chemie Weinheim**. p. 117-181. 1976.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H. Bacillariophyceae: Naviculaceae. In: ETTL, A.; LANGE-BERTALOT, H. (Org.). **Iconographia Diatomologica, annotated diatom micrographs**. Stuttgart: Koeltz Scientific Books, v .5, 1986. 695 p.

KRUK, C.; HUSZAR, V. L. M.; EDWIN; PEETERS, T. H. M.; BONILLA, S.; COSTA, L.; RLING, M. L.; REYNOLDS, C. S.; SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater Biology**. v. 55, p. 614–627, 2010.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 235f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

LOBO, E.; G. LEIGHTON. Estructuras comunitárias de las ficonozes plaktonicas de los sistemas de desembocaduras y esteros de rios de la zona central de Chile. **Rev. Biol. Mar.** v. 22, n. 1, p. 1-29, 1986.

LUND, J. W. G.; KIPLING C.; LENCREN, E. D. The inverted microscope method of estimating algae number and statistical basis of estimating by counting. **Hydrobiologia**. v. 11, p. 143-170, 1958.

MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water analysis: Some revised methods for limnologists**. Freshwater Biological Association. Scientific Association. Kendall: Titus Wilson & Son Ltd, 1978. 117 p.

MAGURRAN, A. F. **Measuring Biological diversity**. Blackwell, Oxford, 2004. 256 p.

MAMÃO, M. A.; FERNANDES, V. O.; FELISBERTO, S. A. Usos múltiplos e descontinuidade limnológica sobre a comunidade fitoplanctônica em um rio tropical. Em preparação.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona. Editora Omega, 1983. 1010p.

MARQUES, P. H. C.; OLIVEIRA, H. T.; MACHADO, E. C. Limnological study of Piraquara river (upper Iguaçu basin): Spatiotemporal variation of physical and chemical variables and watershed zoning. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 46, n. 3, p. 383-394, 2003.

McCUNE, B.; MEFFORD, M. J. **Multivariate analysis of ecological data**. Version 5.0. MjM Software. Oregon: Gleneden Beach, 2006.

METZELTIN, D.; LANGE-BERTALOT, H. Tropical Diatoms of South America, 1. In: GERLOFF, H.; HEYNIG, J. H.; MOLLENHAUER, D. (Orgs.) **Süßwasserflora von Mitteleuropa**. Stuttgart & New York: G. Fischer, v. 2, parte 1, 1998. 876 p.

MEYBECK, M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. **American Journal of Science**. v. 282, p. 401–450, 1982.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos. 2006.

MONTEIRO, M. D. R.; MELO, N. F. A. C.; ALVES, M. A. M. S.; PAIVA, R. S. Composição e distribuição do microfitoplâncton do rio Guamá trecho entre

Belém e São Miguel do Guamá, Pará, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., Belém.** v. 4, n. 3, p. 341-351, 2009.

NEWBOLD, J. D.; O'NEILL R. V.; ELWOOD J. W.; VAN WINKLE W. Nutrient Spiralling in Streams: Implications for Nutrient Limitation and Invertebrate. **The American Naturalist.** v. 120, n. 5, p. 628-652, 1982.

LOUDRA, B.; LOUDIKI, M.; VASCONCELOS, V.; SABOUR, B.; SBIYYAA, B.; OUFDOU, K. H.; MEZRIOUI, N. Detection and quantification of Microcystins from Cyanobacteria strains isolated from reservoirs and ponds in Morocco. **Environmental Toxicology.** v. 17, p. 32-39, 2002.

OWENS, P. N.; WALLING, D. E. The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins. **Water Research.** v. 36, p. 685–701, 2002.

PADISÁK, J. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenaya et Subba Raju, an expanding, highly adaptative cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. **Archiv fu'r Hydrobiologie.** v. 107, 563–593, 1997.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia.** v. 621, p. 1–19, 2009.

PAIVA, R. S.; LEÇA, E. E.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; MELLO, N. F. A. C. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará-Brasil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** v. 1, n. 2, p. 133-146, 2006.

PEREIRA, L. A.; PEREIRA, M. C. T. Conceitos associados à ecologia de rios. In: ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. (ORG). **Lições de Limnologia.** São Carlos, Ed. Rima, 2005. p. 121-140.

PIANKA E. R. On r and K selection. **American Naturalist**. v. 104, p. 592–597, 1970.

RANGEL, L. M. A.; SILVA, L. H. S. A.; ARCIFA, M. S. B.; PERTICARRARI, A. Driving forces of the diel distribution of phytoplankton functional groups in a shallow tropical lake (Lake Monte Alegre, Southeast Brazil). **Brazilian Journal of Biology**. v. 69, n. 1, p. 75–85, 2009.

REYNOLDS C. S. Potamoplankton: paradigms, paradoxes and prognoses. In: Round F. E. (Org.) **Algae and the Aquatic Environment**. Biopress: Bristol, England, 1988. p. 283–311.

REYNOLDS C. S. The long, the short and the stalled: on the attributes of phytoplankton selected by physical mixing in lakes and rivers. **Hydrobiologia**. v. 289, p. 9–14, 1994.

REYNOLDS C.S. **Ecology of Phytoplankton**. Cambridge University Press, USA. . 2006.

REYNOLDS, C. S. 1997. Vegetation processes in the pelagic. A model for ecosystem theory. In: DEVERCELLI, M. Changes in phytoplankton morpho-functional groups induced by extreme hydroclimatic events in the Middle Parana' River (Argentina). **Hydrobiologia**. v.639, p. 5–19, 2010.

REYNOLDS, C. S. On the vertical distribution of phytoplankton in the middle Rio Doce Valley lakes. In: TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y. (Orgs) **Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil**. Brazilian Academy of sciences, University of São Paulo, School Engineering at S. Carlos and Center for Water Resources and Applied Ecology, São Paulo, 1997. p. 265–274.

REYNOLDS, C. S. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. **Freshwater Biol.** v. 14, p. 111–142, 1984.

REYNOLDS, C. S. **The ecology of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University press, 1984. 384p.

REYNOLDS, C. S. **The ecology of phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press. 2006. 535p.

REYNOLDS, C. S. The response of phytoplankton communities to change lake environments. **Schweizerische Zeitschrift fur Hydrologie**. v. 49, p. 220–236, 1987.

REYNOLDS, C. S.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI-FLORES, L.; MELO, S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **J. Plankton Res.** v. 24, p. 417–428, 2002.

REYNOLDS, C. S.; PADISÁK, J.; SOMMER, U. Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a syntesis. **Hydrobiologia**. v. 249, p. 183-188, 1993.

REYNOLDS, C. S. Modelling phytoplankton dynamics and its application to lake management. **Hydrobiologia**. v. 395/396, p. 123–131, 1999.

REYNOLDS, C. S. Phytoplankton designer – or how to predict compositional responses to trophic-state change. **Hydrobiologia**. v. 424, p. 123–132, 2000.

RIBEIRO, F. C. P.; SENNA, C. S. F. & TORGAN, L. C. Diatomáceas em sedimentos da praia de Itupanema, PA, Amazônia. **Rodriguésia**. v. 59 (2), p. 309-324. 2008.

RIOS, L.; CALIJURI, M. C. A Bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão: uma proposta para ordenação das sub-bacias através de variáveis limnológicas. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 7, p. 151-161, 1995.

ROCHA, C. F. D.; BERGALLO, H. G.; SLUYS, M. V.; ALVES, M. A. S. (Orgs.) **Biologia da Conservação: essências**. São Carlos: RiMa, 2006. 582p.

RODRIGO, M. A., ROJO, C.; SEGURA, M.; LARROSA, J. Mechanisms of microalgae selection during the assembly of a planktonic community. **Aquatic Ecology**. v. 43, p. 61–72, 2009.

ROJO, C.; COLBELAS, M. A.; ARAUZO, M. An elementary structure analysis of the river phytoplakton. **Hydrobiologia**. v. 285, p. 43–55, 1994.

ROUND, F. E. The taxonomy of Chlorophyta. **Botanical Phycology Journal**. v. 6, p. 235-264, 1971.

SALMASO, N.; PADISÁK. J. Morpho-functional groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). **Hydrobiologia**. v. 578, p. 97–112, 2007.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. A new version of the Assistat Statistical Assistance Software. In: **World Congresson computers in agriculture**. v. 4, Orlando - USA. Anais. Orlando: American Society of agricultural and biological engenieurs. 2006.

SILVA, W. J.; FELISBERTO, S. A.; FONSECA, C. P.; SOUZA, M. G. M. Serial discontinuity along the Descoberto River Basin, Central Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 22, n. 3, p. 344-355, 2010.

SIMONSEN, R. **Atlas and catalogue of the diatom types of Fredrich Hustedt**. Berlin: J. Cramer. 1987. v. 3, 772 pl., 525 p.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; MILLAN, R. N.; AMARAL, A. A. Influence of management on plankton community of fishponds during the dry and rainy seasons. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 22, n. 1, p. 70-79, 2010.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; MILLAN, R.N.; SANTEIRO, R. M. Characterization of a plankton community in a fish farm. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 22, n. 1, p. 60-69, 2010.

SOARES, M. C. S.; HUSZAR, V. L. M.; ROLAND, F. Phytoplankton dynamics in two tropical rivers with different degrees of human impact (southeast Brazil).

River research and applications. v. 23, p. 698–714, 2007.

SOUZA, M. B. G.; BARROS, C. F. A.; BARBOSA, F.; PADISÁK, J. Role of atelomixis in replacement of phytoplankton assemblages in Dom Helvécio Lake, South-East Brazil. **Hydrobiologia.** v. 607, p. 211–224, 2008.

STANFORD, J. A.; WARD, J. V. Revisiting the serial discontinuity concept. **Regulated Rivers: Research & Management.** v. 17, p. 303-310, 2001.

STATZNER, B.; HIGLER, B. Questions and Comments on the River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.** v. 42, p. 1038-1044, 1985.

STEVENSON, R. J. An Introduction to Algal Ecology in Freshwater Benthic Habitats. In: STEVENSON, R. J.; BOTHWELL, M. L.; LOWE, R. L. (Orgs.). **Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems.** San Diego: Academic Press, 1996. p. 3-30.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A manual of seawater analysis. **Fisheries Research Board of Canada.** v. 125, p. 1-18. 1960.

SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research.** v. 25, n. 2, p. 1331-1346, 2003.

TOLEDO, A. P. 1990. Informe preliminar sobre os estudos para a obtenção de um índice para a avaliação do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais. In: CUNHA, D. G. F.; Falco, P. B.; Calijuri, M. C. Densidade fitoplanctônica e estado trófico dos rios Canha e Pariquera-Açu, bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, SP, Brasil. **Ambi-Agua.** v. 3 n. 2, p. 90-105, 2008.

TOLEDO, A. P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e

reservatórios tropicais. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Camboriú, pp.1–34. 1983.

TUCCI, A.; BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M.; OSTI, J.A.S.; ADAME, G. Checklist das Cryptophyceae do Estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**. v.11(1a), p. 1 – 13, 2011.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

UEHLINGER, V. Étude statistique des methods de dénombrement planctonique. **Arch. Sci.**, v. 17, n. 2, p. 121-123, 1964.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton- methodik. **Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.** v.9, p. 1- 38, 1958.

VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. **Marc. Chem.** v. 10, p. 1109-122, 1981.

VAN DEN HOEK, C.; MANN, D. G.; JAHNS. H. M. **Algae: an introduction to phycology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 623 p.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. v. 27, p. 130-137, 1980.

WARD, J. V.; STANFORD, J. A. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In: FONTAINE. T. F.; BARTELL, S. M. (Orgs.). **Dynamics of Lotic Ecosystems**. Michigan: Ann Arbor Science, 1983. p. 29-42.

WEBB C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK, M. A.; DONOGHUE, M. J. 2002. Phylogenies and community ecology. In: KRUK, C.; HUSZAR, V. L.; PEETERS, M. E. T. H. M.; BONILLA, S.; COSTA, L.; RLING, M. L.; REYNOLDS, C. S.;

SCHEFFER, M. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater Biology**. v. 55, p. 614–627, 2010.

WEBER, C. I. Plankton. In: National Environmental Research Center Office of Research and Development U. S. Environmental Protection Agency Cincinnati (Ed.) **Biological field and laboratory methods for measuring the quality surface water and effluents**. USA. p.1-17. 1973.

WETZEL, C. E. **Biodiversidade e distribuição espacial de diatomáceas (Bacillariophyceae) na bacia hidrográfica do Rio Negro, Amazonas, Brasil**. 2011. 191 f. Tese (Doutorado, Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2011.

WHITTON, B. A. Diversity, ecology and taxonomy of Cyanobacteria. In: MANN, N.G.; CARR, N. G. **Photosynthetic procariotes**. New York: Plenum Press, 1992. p. 1-51.